علم وظائف الأعضاء

تأليف

دكتور
محمد طلعت

دكتور
أحمد حسن

الجزء الأول

علم وظائف الأعضاء

(١٩٤٠)

إهـــــداء2005

رصيد عام

عِلم وَظائِف الأعضاء

الجزء الأول

تأليف

الدكتور

محمد طلعت

بكالوريوس طب وجراحة من كلية الطب
بكالوريوس (شرف) فى علم وظائف الاعضاء
دكتور فى الفلسفة من جامعة لندن
مدرس علم وظائف الاعضاء بكلية الطب
أستاذ علم وظائف الاعضاء بكلية الطب بالعراق

الدكتور

احمد حسن

بكالوريوس (شرف) فى علم وظائف الاعضاء
ماجستير علوم من الجامعة المصرية
دكتور فى الفلسفة من جامعة فؤاد الاول
مدرس علم وظائف الاعضاء بكلية الزراعة

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الأكبر لصاحبها محمود الخضري

إلى مصر والأقطار العربية

بسم الله الرحمن الرحيم

(وفى أنفسكم أفلا تبصرون)

قرآن كريم

لقد قمنا بوضع هذا الكتاب لأننا وجدناه ضرورياً لازماً من عدة وجوه . فهو ضرورة لازمة لطالب كلية الزراعة الذى يدرس هذا العلم باللغة العربية ؛ وليس هناك — على ما نعلم — مرجع عربى حديث يمكن للطالب أن يقصده . وهو ضرورة لازمة لطالب كلية الطب الذى يدرس هذا العلم باللغة الأنكليزية ؛ فعلم وظائف الأعضاء بمثـــابة الأساس فى بناء علوم الطب الأخرى . ولا يكفى أن يستذكر الطالب بعض نقطه وينجح فى الامتحان بل يجب أن يتفهمه جيداً ويستوعب معانيـه جيداً حتى يسهل عليه تتبع الفروع الطبية الأخرى . وليس أبعث على ذلك للطالب المصرى أو العربى من قراءة هذا العلم بلغته الأصلية ، جنباً إلى جنب مع مراجعه الإنكليزية . وهو ضرورة لازمة كمرجع لأولئك الذين يقومون بتدريس علم الحياة فى المدارس الزراعية المتوسطة والمدارس الثانوية . وهو ضرورة لازمة لرجال الاجتماع والاقتصاد والسياسة الذين ينظمون حياة الإنسان من عمل وغذاء ومسكن وما إليها ؛ إذ يجب عليهم أن يعلموا شيئاً عن هذه الآلة الإلهية وعما تحتاجه من وقود لتسييرها ، أو من عناصر لترميمها ، وعما يمكنها أن تؤديه من عمل تحت العوامل المختلفة . وهو ضرورة لازمة لكل من يريد أن يزداد إيماناً بالله . فكل خلية من خلايا أجسامنا آية ناطقة بعظمة الصانع جل شأنه وعلا .

وقد لوحظ أن الحاجة ماسة إليه لما كلف أحدنا بتدريس هذه المادة

لطالبات الاختصاص فى التدليك والكهرباء بكلية الطب سنة ١٩٣٥ وبانتدابه لمعهد التربية البدنية العالى للبنين سنة ١٩٣٨ . وزادت الحاجة إلى هذا المرجع بدخول تلك المادة ضمن برامج كلية الزراعة حيث عهد للآخر بتدريسها وقد رأينا توحيداً للجهود أن نشترك فى تأليف هذا المرجع .

وإننا إذ نتقدم بالجزء الأول من هذا الكتاب نرجو أن نكون قد وفقنا بعض التوفيق فى إخراجه . نقول بعض التوفيق وليس كله ، لأننا نعلم علم اليقين أننا أبعد ما نكون عن التوفيق الكامل ؛ وذلك لا عن تواضع منا وإنما لوجوه نقص كثيرة لم يمكننا أن نتفاداها فى هذه الطبعة ومن المؤكد لنا أن كثيراً من زملائنا سيجدون المجال واسعاً لنقد الكتاب وإننا نرحب بهذا النقد كل الترحيب ، ونرجو أن يوافونا بكل ما يرونه من أوجه النقص ومواضع الخطأ والزلل حتى نصل بالكتاب فى الطبعات القادمة بإذن الله إلى درجة تحوز رضاهم .

ولقد وجدنا بعض الصعوبة فى تعريب كثير من المصطلحات العلمية . وكان القاموس القيم للدكتور محمد شرف خير معين لنا فى ذلك . ونرجو أن يتم فى القريب العاجل التعاون بين الناطقين بالضاد ، وقد رأينا أن نضع بجانب النص العربى النص الإنكليزى حتى يسهل على الطالب تتبع المراجع الانكليزية وزيادة معلوماته بعد قراءة هذا الكتاب .

وإننا ننتهز هذه الفرصة لنسجل اعترافنا بفضل حضرة صاحب العزة محمود توفيق الحفناوى بك عميد كلية الزراعة ووزير الزراعة السابق فى تشجيعه ونصحه بعمل هـــذا المرجع حيث كان من آثار نهضته بالتعليم الزراعى فى مصر إدخال هذا العلم ضمن برامج الكلية لما له من علاقة وثيقة بعلوم تربية الحيوان وتغذيته والألبان .

وإننا نتقدم بجزيل الشكر لأستاذنا الفاضل الدكتور ج . ف . أنرب أستاذ علم وظائف الأعضاء بكلية الطب ، وما هذا الكتاب إلا إحدى ثمرات

تعاليمه . كما نشكر أستاذنا الفاضل الدكتور مصطفى حموده وباقى أعضاء هيئة التدريس بقسم علم وظائف الأعضاء . إذ أن هذا المجهود ماهو إلا نتيجة للعلاقة العلمية الوثيقة التى بيننا وبين جميع أفراده . وإننا مدينون لأستاذنا الفاضل الدكتور على حسن أستاذ الكيمياء الحيوية بكلية الطب ولزميلنا النابغة الدكتور محمد شفيق الريدى مدرس الكيمياء الحيوية على مراجعتهما لكثير من أبواب الجزء الأول وقد كان لتشجيعهما المتواصل أثر كبير فى إنجاز هذا الجزء من الكتاب . وإننا نريد أن نبين بوضوح أنهما لم يطلعا على بعض أبواب هذا الجزء قبل طباعته . وكل ما به من نقص تقع مسئوليته على عاتقنا وحدنا . ونتقدم بالشكر الوافر للدكتور أمين على طرخان مدرس الهستولوجيا بكلية الطب على مراجعة الباب الثانى وتصحيحه . ونشكر الأستاذ إسماعيل شوقى رئيس تشغيل مطبعة مصر على تصحيح اللغة العربية لكثير من أبواب الكتاب . كما نشكر الأساتذة أصحاب المراجع الأجنبية على نقل كثير من الأشكال من مراجعهم . ولا يفوتنا أن نشكر صاحب ومدير وعمال مطبعة الاعتماد على معونتهم لنا وعلى ماقاموا به من مجهود قيم فى إنجاز طباعة هذا الجزء فى وقت قصير .

وإننا نرجو أن نكون قد وفقنا إلى القيام ببعض الواجب علينا لأمتنا العزيزة والأقطار العربية الشقيقة . ونرجو أن نكون بهذا الكتاب قد أضفنا حجراً إلى ذلك البناء الضخم الذى شيده ولا يزال يشيده عميد الطب فى مصر صاحب المعالى الدكتور على إبراهيم باشا وإنه ليسرنا كل السرور أن يظهر الجزء الأول من هذا الكتاب وقت الاحتفال بيوبيله الفضى .

وفقنا الله إلى مافيه الخير فى ظل حضرة صاحب الجلالة الدكتور فاروق الأول نصير العلم والجامعة حفظه الله ؟

محمد طلعت — احمد حسن

محتويات الكتاب

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

علم وظائف الأعضاء

الباب الأول

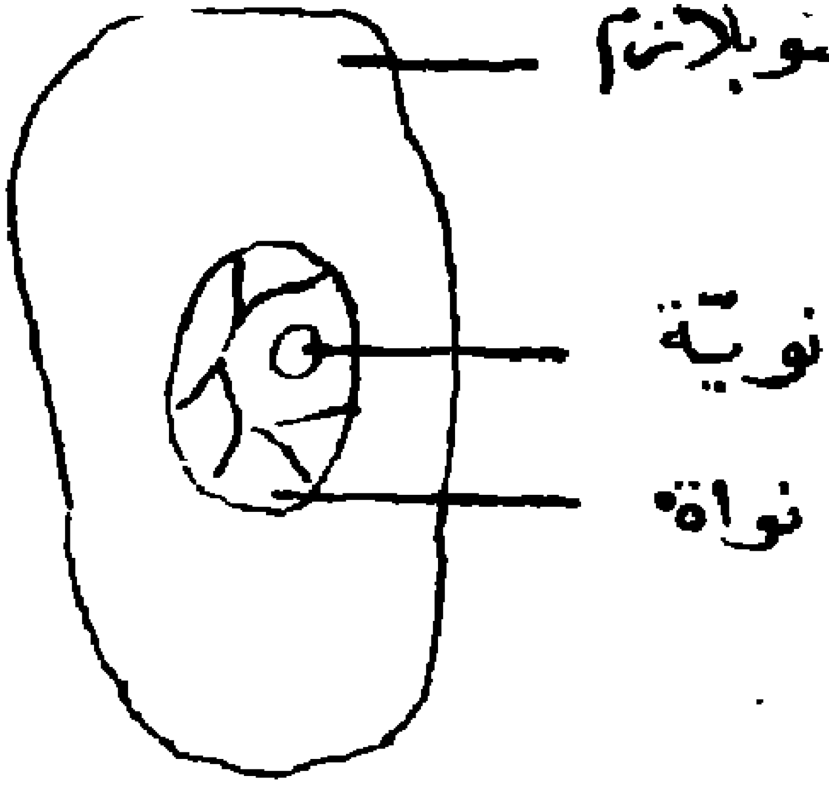
مقدمة

علم وظائف الأعضاء هو العلم الذى يصف الظواهر الخلقية التى تبديها الكائنات الحية فيبحث هذا العلم فى عمل كل عضو من أعضاء الجسم ، وفى كيفية تأدية هذا العضو وظيفته ، وفى العوامل التى قد تؤثر فى هذه الوظيفة . ولذلك نرى أن هذا العلم يكوّن ركناً أساسياً للدراسات الطبية بأنواعها المختلفة.

وينقسم علم وظائف الأعضاء قسمين : عام وبشرى . ويبحث القسم العام فى جميع الكائنات الحية من نبات أو حيوان ؛ ويبحث البشرى فى وظائف أعضاء الانسان . ولو أن هذا القسم الأخير هو الأهم من حيث فائدته للمجتمع الإنسانى إلا أننا سنرى أن كثيراً ما يتشابه عمل جميع المخلوقات الحية ، وأن كثيراً من وظائف أعضاء الانسان نفسه — بل كثيراً من طرق علاج الأمراض الجسيمة — قد كان نتيجة منطقية لتجارب عملت فى حيوانات أخرى .

الحياة ومميزاتها — إن أردنا للحياة تعريفاً لوقفنا مكتوفى الأيدى . وكل ما يمكننا أن نقوله أنها من فعل المولى سبحانه وتعالى ، لم يتوصل البحث الطبى ولا المعرفة العلمية إلى حل كثير من أسرارها . إلا أن هناك خواص تميز الجسم الحى من الميت . وأهم هذه الخواص التغذية والتنفس والنمو والاخراج والحركة والحس والتوالد — بل الموت نفسه . هذه خواص لكل كائن حى ، سواء كان مركباً من خلية واحدة أو من ملايين من الخلايا . فالخلية (شكل ١) هى وحدة الحياة . وتتكون — سواء كانت من حيوان أو نبات — من

جزئين : نواة وسيتوبلازم . فالنواة عبارة عن جسم بيضى أو كرى الشكل فى وسط الخلية ، يفصلها عن السيتوبلازم غشاء دقيق ، وبداخل النواة كتل أو خيوط من مادة تسمى كروماتين . وكثيراً ما توجد أجسام أخرى تسمى نويات ؛ وتختلف هذه فى قابليتها للأصباغ عن بقية النواة .



(شكل ١)

وأما السيتوبلازم فمادة لزجة تختلف شكلا وحجما تحت الميكروسكوب من خلية لأخرى كما تختلف فى الخلية نفسها من وقت إلى آخر . وقد يكون السيتوبلازم متجانساً شكلا أو به عيون أو حبوب من مادة أكثر صلابة . ويوجد بالسيتوبلازم أعضاء أخرى كجهاز جولجى . وتحاط الخلية بغشاء يتكون فى النبات من مادة صلبة تسمى خليوز (Cellulose) . ولكن فى خلايا الحيوان يتكون هذا الغشاء من تركيز بعض المواد العضوية التى تكون الخلية . ولهذا الغشاء أهمية عظمى فى حفظ كيان الخلية . فلولاه لذابت الحيوانات ذوات الخلية الواحدة فى المياه المحيطة بها والمختلفة عنها كل الاختلاف . ولما بقى فرق بين خلايا أجسامنا وسوائلها المحيطة بها . ولكل عضو من أعضاء الخلية وظائف . ولكن يكفى هنا أن نقول أن النواة تقوم بتركيب المواد العضوية وحفظ النسل ، وأن السيتوبلازم يختص بالعمليات التى بها صرف للطاقة كأكسدة المواد الغذائية .

ولو أنه لا يوجد فرق أساسى بين مميزات الحياة فى الحيوان عامة إلا أن هناك اختلافات تفصيلية . فمثلا فى الأميبا تقوم خلية واحدة بكل وظائف الجسم فتنتشر المواد الغذائيه والأوكسيجين من الماء المحيط بالغشاء السطحى للخلية إلى داخلها حيث تجرى عملية هضم الأغذية فى البروتوبلازم ؛ وتفرز الفضلات من خلال الغشاء السطحى أيضاً وتتحرك الخلية بوساطة أقدام كاذبة ، هى عبارة عن نتوءات وقتيـة من البروتوبلازم . فإذا كانت الأحوال المحيطة

بالخلية ملائمة من حيث وفرة الغذاء والأوكسيچين، ومن حيث درجة الحرارة، نمت الأميبا وبنموها تقل نسبة السطح الخارجى إلى حجم الخلية . ولما كان للسطح أهمية عظمى فى حياة الأميبا — إذ بواسطته تتغذى وتتنفس وتفرز وتحفظ كوحدة مستقلة عن المياه المحيطة بها — رأينا أن نمو الأميبا لا يمكن إطراده إلى درجة غير محدودة ، إذ كلما نمت بعدت أجزاء البروتوپلازم الداخلية عن السطح ، أى عن الغذاء والأوكسيچين الضروريين للحياة . وتستعيض الأميبا عن ذلك حينما تنمو إلى حجم معين بانقسامها إلى جزئين، فينفصل كل منهما عن الآخر انفصالا تاماً ويعيش مستقلا عن أخيه . وبذلك تتوالد الأميبا ويكثر عددها ، فإذا ساءت الأحوال المحيطة بها — بأن جف الماء أو شح الغذاء أو تغيرت درجة الحرارة كثيراً — قاومت الأميبا ذلك ، فتستدير وتحيط نفسها بغشاء سميك من الكيتين ؛ فان اشتد الجو سوءا كان مصيرها الموت كمصير كل كائن حى .

هكذا تحيا الأميبا المكونة من خلية واحدة كما يحيا الانسان : فتتغذى وتتنفس وتتحرك وتتوالد وتموت . ولكن هناك فوارق تفصيلية بيننا وبين الحيوانات الدنيئة ؛ وهذه الفوارق تجعل لأجسامنا مقدرة على احتمال التغييرات الطبيعية والكيميائية فى الوسط المحيط بنا فلا يصيبنا الموت عندما يحدث تغيير بسيط فى درجة الحرارة مثلا . وأهم العوامل التى جعلت لأجسامنا هذه الميزة هو اختصاص الخلايا . فملايين الخلايا التى تكون أجسام الحيوانات الراقية تختلف فى تركيبها كما تختلف فى الوظيفة . وكل من هذه الخلايا مع دقتها وحدة حية تقوم بعملها باستقلال ، ولو أنها — كالفرد فى المجتمع — متأثرة دائماً بما يحدث لبقية الأفراد . بل يذهب هذا التشبيه إلى أبعد من ذلك ، فكما تتوقف حالة المجتمع ورخاؤه على عمل أفراده المختلفة فإن حياة الجسم ما هى إلا مجموعة عمل خلاياه . وكما يشترك بعض الأفراد فى عمل واحد حتى يتمكنوا من سد حاجة المجتمع من ناحية وظيفتهم ، فكذلك

تشترك الخلايا المتشابهة فى الوظيفة والتركيب ؛ وفى اشتراكها هذا تكون أنسجة الجسم المختلفة كالنسيج العضلى أو نسيج الغدد أو الجلد مثلا . وكما أن النظم الاجتماعية قد أثبتت ضرورة وجود هيئة رئيسية لتوحيد الأعمال المختلفة وتنظيمها وتسييرها فى طريق معين عند الحاجة فقد انتخبت خلايا الجسم من بينها المخ والنخاع الشوكى ليقوما بهذه الوظيفة الرئيسية . ولو تمعنا قليلا لوجدنا أن حكومة الجسم تفوق فى دقة عملها ونظامه كل حكومات هذا العالم . فهى تتصل بوساطة الأعصاب بكل أنسجة الجسم اللهم إلا الخلايا الميتة كطبقة الجلد السطحية والخلايا التى فى حركة دائمة ككرات الدم — ولو أن للجهاز العصبى كل السيطرة على الكرات الدموية من حيث سرعة حركتها أو توزيعها على أعضاء الجسم . والحقيقة أن الدم بخلاياه يربط أجزاء الجسم بعضها ببعض ويساعد الجهاز العصبى فى أداء وظيفته لتكوين وحدة حية متحدة من تآلف تلك الوحدات الدقيقة التى لا عدد لها .

الطرق المتبعة فى بحث وظائف الأعضاء

لقد نما علم وظائف الأعضاء نمواً عظيما باستعمال قوانين الطبيعة والكيماء فى دراسته . فقد أصبح ذلك جائزاً بعد أن ثبتت نهائياً صحة قانون الطبيعة والكيمياء الأساسى عند تطبيقه لما يحدث داخل الجسم . فمنطق هذا القانون هو أن المادة والقوة لا تولدان ولا تفنيان . ولقد بدأت معرفتنا بصحة هذا القانون فى أجسامنا بتجارب سانكتورياس (Sanctorius) فى أوائل القرن السابع عشر فقد كان يجلس معظم وقته فى كفة ميزان وبذا أثبت أن وزن جسمه بعد الأكل يساوى وزنه قبل الأكل زائداً وزن الطعام . ووجد أيضاً أن وزن جسمه ينقص تدريجياً بين الوجبة والأخرى وسبب ذلك النقص هو ما يفقده الجسم من بخار الماء من الجلد والرئتين . ومع أن تجارب سانكتورياس أولية إلا أنها كانت بداءة تجارب كثيرة

تدرجت حتى أثبت روبنر (Rubner) فى أواخر القرن التاسع عشر أن المواد الغذائية التى نستعملها تولد طاقة فى داخل أجسامنا تساوى تماماً تلك الطاقة التى تولدها إذا أكسدت خارج الجسم. فمن هذه الناحية يمكننا اعتبار أجسامنا آلات تحول الوقود باستمرار إلى طاقات مختلفة ؛ وتكون هذه الطاقات — فى مجموعها — الحياة .

وكما تطبق قوانين الطبيعة والكيمياء على جسم الإنسان تطبق أيضاً على حيوانات أخرى ، فتعمل التجارب عليها فى اليقظة أو تحت تأثير المخدرات أو على أعضاء تفصل من الحيوان ويمكن حفظها حية ، وتؤدى وظيفتها مدداً مختلفة بعد فصلها من الجسم . كما أنه لدراسة التشريح الميكروسكوبى لكل عضو من أعضاء الجسم ومعرفة تركيبه وتكوين خلاياه فائدة عظيمة فى تفسير وظائفه . هذا وللاحظة الأعراض المرضية ومقارنتها بالخلل الموجود فى أعضاء الجسم عند التشريح بعد الوفاة أثر كبير فى كشف القناع عن وظائف هذه الأعضاء .

وبهذه الطرق وغيرها أمكن دراسة وظائف أعضاء الجسم ، والعوامل التى تؤثر فى هذه الوظائف ، وعلاقة الأعضاء بعضها ببعض ، وكيفية عملها كلها معاً لتكوين الحياة وللتغلب على التغيرات الطبيعية والكيمائية التى تحدث فى الوسط المحيط بالحيوان .

الباب الثانى

التركيب الميكروسكوبى للجسم (Microscopic Structure)

تنقسم أنسجة الجسم إلى أربعة أنواع : —

١ — النسيج الطلائى (Epithelial tissue) .

٢ — النسيج الضام (Connective tissue) .

٣ — النسيج العضلى (Muscular tissue) .

٤ — النسيج العصبى (Nervous tissue) .

النسيج الطلائى

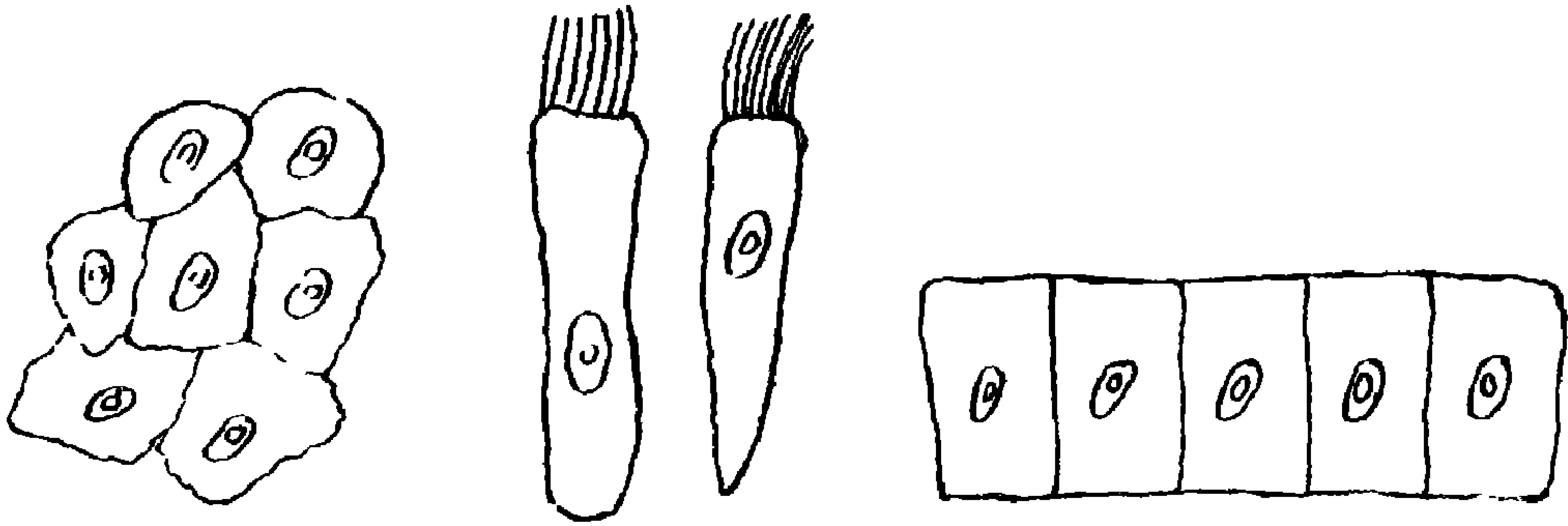
يغطى هذا النسيج سطح الجسم والأغشية المخاطية ويبطن الأعضاء المجوفة . وينقسم إلى فصيلتين عظيمتين يمكن تقسيم كل منهما بحسب شكل الخلايا وترتيبها.

***الفصيلة الاولى : النسيج الطلائى البسيط* (Simple Epithelium) —**
ويتركب من طبقة واحدة من الخلايا ، ويوجد منه الأنواع الآتية :

(ا) النسيج الطلائى المكعب والعمودى (Cubical and Columnar Epitheluim) (شكل ٢) ويوجد النسيج الطلائى المكعب فى فجوات الغدة الدرقيـــــة وفى الأنابيب الكلوية (uriniferous tubules) . أما العمودى فيبطن القناة الهضمية من المعدة إلى آخر المستقيم ؛ وتكون الخلايا سميكة ومكعبة أو عمودية الشكل كما يبدو من الاسم .

(ب) النسيج الطلائى الهدبى (Ciliated Epithelium) (شكل ٣) :
وخلاياه غالباً عمودية الشكل؛ ويبرز من سطحها خيوط دقيقة من البروتوبلازم دائمة الحركة ويتسبب عن حركتها تيارات فى السائل الملامس لها ، ويبطن

هذا النسيج الممرات الهوائية ولكنه لا يوجد فى الحويصلات الهوائية ، ويوجد أيضاً فى قنوات فالوب (Fallopian tubes) والجزء العلوى من الرحم، وفى القناة المنوية والبربخ ، وفى بطينات المخ والقناة المركزية للنخاع الشوكى . وفى بعض الحيوانات — كالضفدعة — تبطن الخلايا الهدبية الفم والمرىء وأماكن أخرى . وفائدة حركة الأهداب والتيارات التى تنشأ عنها عظيمة . فمثلا فى القصبات الهوائية تطرد التيارات الافرازات المخاطية أو البلغم وتمنع تراكمها فى المجارى الهوائية ؛ وفى قناة فالوب تحرك التيارات البويضة إلى الرحم .



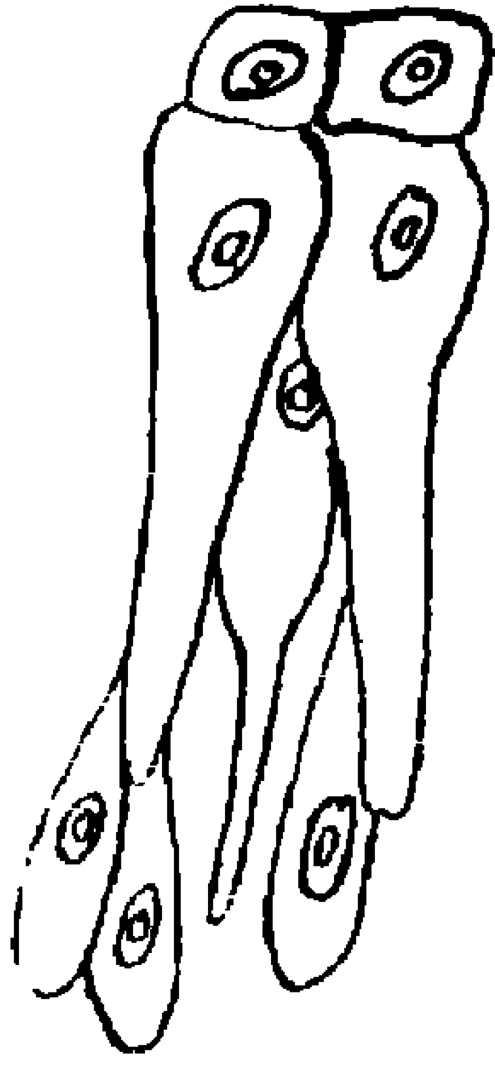
(شكل ٤)　　(شكل ٣)　　(شكل ٢أ)

(حـ) النسيج الطلائى البلاطى (Pavement Epithelium) (شكل ٤) :
ويتركب هذا النسيج من طبقة رقيقة من الخلايا مرتبة على شكل فسيفسائى محكم . ويمكن مشاهدة هذا النوع فى النسيج الطلائى المبطن للحويصلات الهوائية للرئتين .

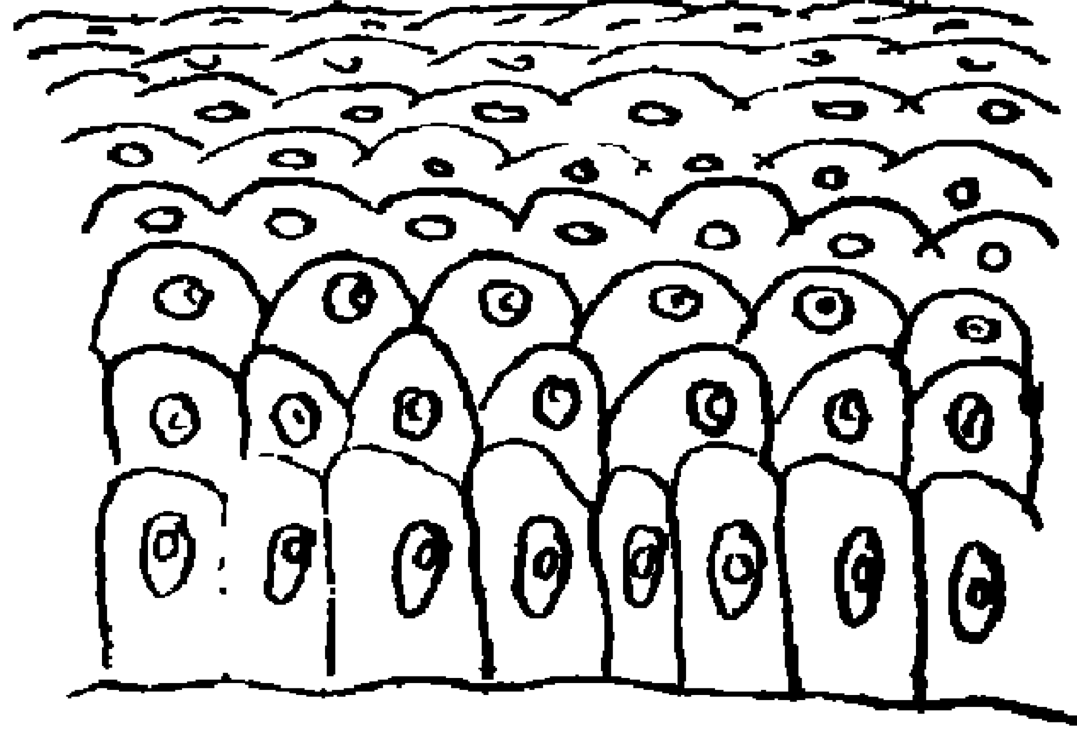
الفصيلة الثانية : النسيج الطلائى المركب (Compound Epithelium)—
ويتركب هذا النسيج من أكثر من طبقة واحدة من الخلايا وينقسم إلى :

(ا) النسيج الطلائى الانتقالى (transitional Epithelium) (شكل ٥):
ويتركب من ثلاث أو أربع طبقات من خلايا كبيرة كثيراً ما تكون كمثرية الشكل . ويبطن هذا النسيج المثانة والحالب .

(ب) النسيج الطلائى الطباقى (Stratified Epithelium) (شكل ٦) :



(شكل ٦)



(شكل ٥)

ويتركب من عدد كبير من طبقات الخلايا ؛ ويكون البشرة والجزء العلوى من القناة الهضمية من الفم حتى مدخل المرىء من المعدة . وتكون الخلايا فى الطبقات العميقة عمودية أو مكعبة الشكل ، أما الخلايا فى الطبقات السطحية فمسطحة ، وتحول البروتوبلازم بها إلى مادة قرنية (Keratin) .

النسيج الضام

يمتاز هذا النسيج عن غيره بكثرة المادة التى بين الخلايا ، وقد تكون هذه المادة سائلة كما فى حالة الدم واللمف . وقد تكون صلبة جداً كما فى حالة العظم حيث تترسب بها أملاح الكالسيوم وقد تكون وسطاً بين هذا وذاك كما فى الأنواع الأخرى . ويكوّن هذا النسيج هيكل الجسم ، ويؤدى وظيفة ربط الأنسجة وتدعيمها وضمها لبعضها . وتوجد أنواع كثيرة من هذا النسيج وهى:

١ — النسيج الضام الخلالى (Areolar tissue).

٢ — « « الليفى (Fibrous tissue).

٣ — « « المطاط (Elastic tissue).

٤ — « « الدهنى (Adipose tissue).

٥ — « « الشبكى والليمفاوى (Reticular and Lymphoid tissue).

٦ — النسيج الشبيه بالجيلاتين (Jelly like tissue).

٧ — الغضروف (Cartilage).

٨ — العظم والأسنان (Bone and teeth).

٩ — الدم (Blood). واللمف (Lymph)

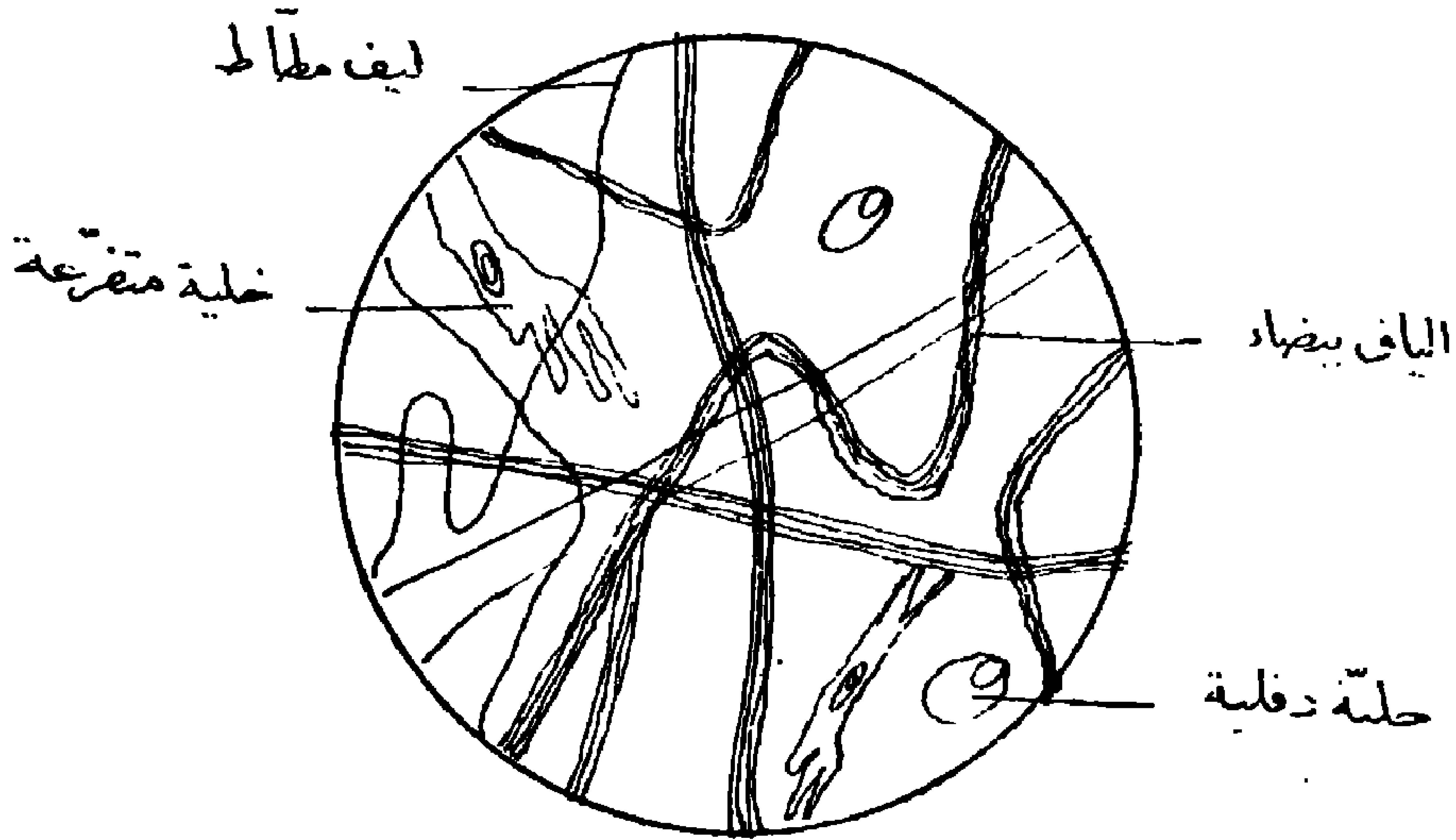
١ — **النسيج الضام الخلالى:** هو أكثر الأنواع شيوعا بالجسم . وهو نسيج ضام نموذجي . ويتركب كما فى (شكل ٧) من العناصر الآتية :

١ — ألياف بيضاء (White fibres).

٢ — ألياف صفراء أو مطاطة (Yellow or elastic fibre).

٣ — خلايا النسيج (Connective tissue cells).

٤ — مادة ما بين الخلايا (Interstitial substance).



(شكل ٧)

والألياف البيضاء عبارة عن خيوط رفيعة متموجة تجرى فى حزم فى اتجاهات مختلفة وتتقاطع مع بعضها البعض مكونة شبكة غير منتظمة وتاركة فجوات (Alveoli) فيما بينها . وقد تتفرع الحزم وتشتبك فروع كل منها مع الأخرى ؛ ولكن الليفة الواحدة لا تتفرع مطلقاً .

وأما الألياف الصفراء فتجرى عادة منفردة وتتفرع وتتصل فروع الألياف ببعضها . وتتركب الألياف البيضاء من كولاجن (Callagen) يذوب فى الماء المغلى ويتحول إلى چيلاتين (gilatin) . وأما الألياف الصفراء فتتكون من مادة بروتينية أخرى تسمى الإستين (Elastin) . وباضافة حامض الخليك إلى النسيج تنتفخ الألياف البيضاء وتصير غير واضحة ، فى حين لا تتأثر الألياف الصفراء .

ويوجد المخاطين (Mucin) بالماء المتجانسة بين الألياف . والتى يوجد بها الخلايا . ولا يمكن رؤية هذه المادة المتجانسة بوضوح نظراً لأنها شفافة جداً ، ولكنها تصبغ بمحلول نترات الفضة وتصير صفراء قاتمة فيما عدا المسافات التى يوجد بها الخلايا .

وتوجد عدة أنواع من الخلايا أكثرها شيوعاً ما يأتى :

١ — الخلايا الليفية (fibroblasts) : وهى خلايا متفرعة تتصل فروع كل خلية منها بفروع الخلية المجاورة لها . مثال ذلك الخلايا الموجودة فى القرنية (Cornea) .

٢ — الخلايا الدقلية (Mast cells) : وهى خلايا غير متفرعة يزدحم البروتوبلازم بهـا بحبوب بروتينية تصبغ بالأصباغ القاعدية ، مثل چينتيان بنفسجى (Gentian violet) ، وتوجد بكثرة بجوار الأوعية الدموية .

٣ — الخلايا المتجولة (wander cells) : وهى خلايا تتحرك حركة أميبية ، ككرات الدم البيضاء التى تنفذ من جدران الشعريات الدموية .

٤ — الخلايا الملونة (Pigment Cells) : وهى خلايا تشبه الأولى ولكنها محملة بمادة سوداء أو بنية توجد فى مواضع كثيرة تحت الجلد ، وفى الطبقة المتوسطة لجدار العين تحت الجلد فى بعض الحيوانات كالضفدعة والأسماك .

ويوجد النسيج الضام الخلالى فى مواضع كثيرة بالجسم فهو موجود مثلا تحت الجلد (Subcutaneous) ، وتحت الغشاء المخاطى (Submucous) ، وتحت

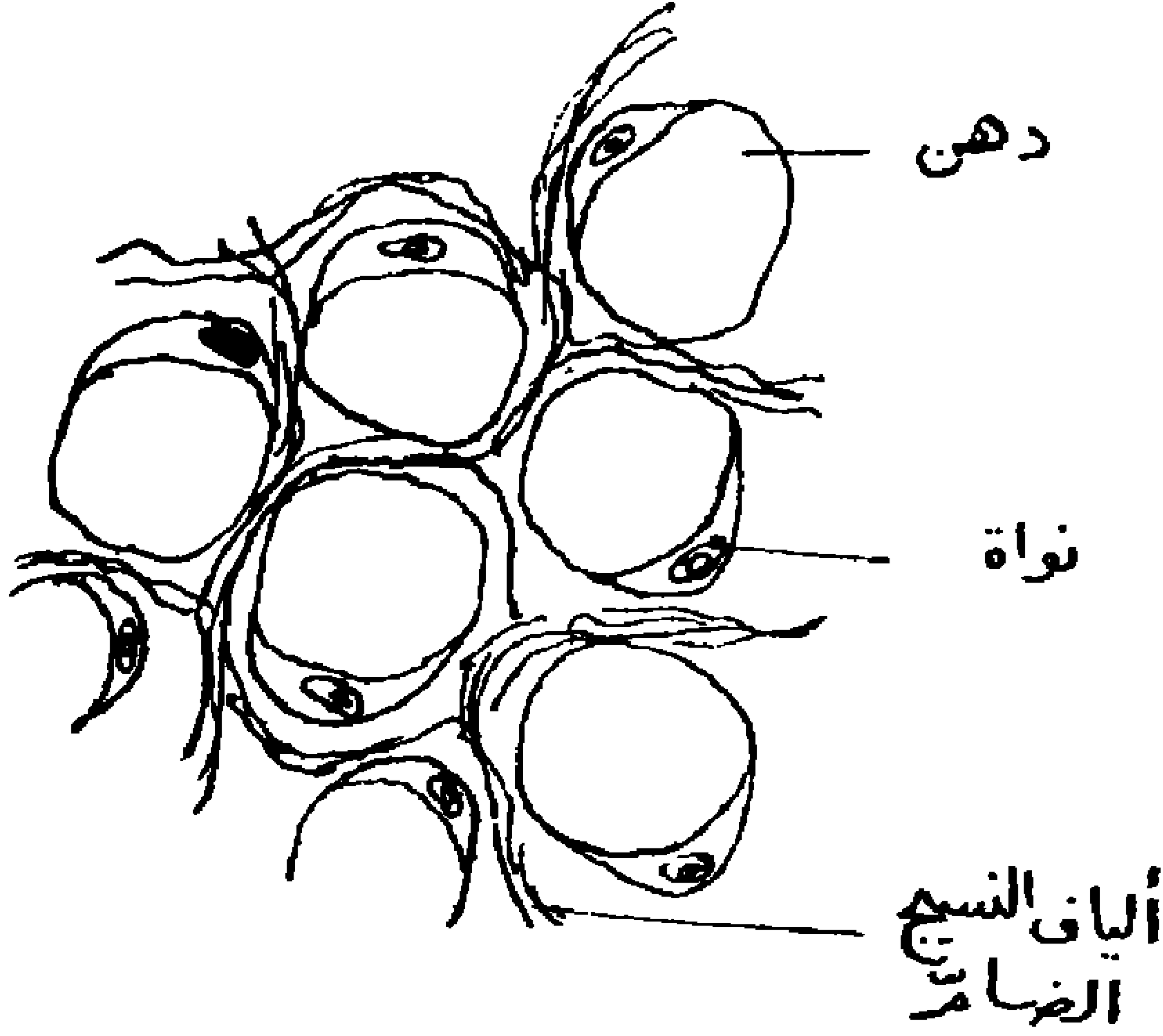
الغشاء المصلى (Subserous) ؛ ويكون أغلفة العضلات والأعصاب والأوعية الدموية والغدد ، ويثبت الأعضاء الداخلية فى مراكزها وينفذ بداخلها مدعما وضاماً أجزائها .

(٢) **النسيج الضام الليفى** : تربو فى هذا النسيج الألياف البيضاء على غيرها . والألياف مرتبة أحيانا فى حزم متوازية مع بعضها مما يجعل هذا النسيج متيناً جداً . والخلايا كبيرة الحجم ولها نواة كبيرة مستديرة . وقد ترتب الخلايا فى سلاسل طويلة بين الألياف كما فى حالة أوتار العضلات . ويوجد هذا النسيج فيما عدا أوتار العضلات فى أربطة المفاصل وفى الجلد وأماكن أخرى .

(٣) **النسيج الضام المطاط** : تربو فى النسيج المطاط الألياف الصفراء أو المطاطة على غيرها . ويوجد فى جدران الشرايين والأوردة وفى القصبة الهوائية والرباط القفوى (Ligamentum nuchea) للثور والحصان وحيوانات أخرى كثيرة ويساعد النسيج المطاط النسيج العضلى إذ يمنع تمزقه أو تمدده نظراً لمرونة الألياف الصفراء . فمثلا يساعد الرباط الأصفر (Ligamentum flava) العمود الفقرى للانسان على حفظ الجسم معتدلا ، والرباط القفائى على رفع الرأس ضد جاذبية الأرض . وفى جدران الأوعية الدموية يمنع النسيج المطاط تمدد الجدران الذى قد ينشأ من ضغط الدم . وفى القصبة الهوائية يقوم النسيج المطاط بوظائف مماثلة .

(٤) **النسيج الدهنى** : يوجد النسيج الدهنى بكل مواضع الجسم ولا يختفى إلا فى أماكن قليلة كتحت جلد جفون العين والقضيب (Penis) والصفن (Scrotum) والشفرين الصغيرين (Labia minora) وفراغ الجمجمة . ويتركب النسيج الدهنى من خلايا صغيرة ملأى (شكل ٨) بالدهن الذى يحل محل معظم بروتوبلازم الخلية . ويحاط الدهن بغشاء رقيق من

البروتوبلازم ينتفخ حيث توجد نواة الخلية. وتوجد الخلايا الدهنية على أشكال كثيرة: فقد تكون كتلا صغيرة منتظمة الشكل يفصلهما عن بعضهما خيوط من نسيج خلالى أو شبكة من الشعريات الدموية. وتوجد الخلايا الدهنية بكثرة فى طريق الأوعية الدموية. وتنشأ الخلايا الدهنية من خلايا النسيج الضام العادية. فيظهر أولا فى البروتوبلازم نقط صغيرة



(شكل ٨)

من الدهن تتحد مع بعضها وتكون نقطاً أكبر منها. وهكذا تمتلىء الخلية بالدهن على حساب البروتوبلازم الأصلى الذى يصبح، فى الخلية التامة التكوين، عبارة عن غشاء رقيق يحتوى على النواه ويصبغ الدهن بحامض أوزميك (Osmic acid) باللون الأسود، وذلك لأن حامض أولييك الذى يوجد بالدهن يختزل حامض الأوزميك وينتج عن هذا الاختزال مركب أسود اللون، وللنسيج الدهنى فوائد هامة، فهو عبارة عن مخزن للوقود الذى يستعمل فى حالات الصيام أو قلة الغذاء. ويمنع الدهن الموجود تحت الجلد فقد كميات كبيرة من حرارة الجسم كما يملأ الفراغات الموجودة بين أعضاء الجسم فيكون مادة مرنة ناعمة، وبذا تحفظ الأعضاء فى مواضعها ولا تتأثر بالضغط.

(٥) **النسيج الشبكى والليمفاوى**: يكون النسيج الشبكى الهيكل لكثير من الأعضاء كالغدد الليمفاوية والطحال والكبد ونخاع العظام والأغشية المخاطية. وهو يدعم خلايا الأعضاء التى توجد به، وتكون المادة المتجانسة التى بين الخلايا أكثر سيولة فى هذا النسيج من أى نوع آخر. وتقل —

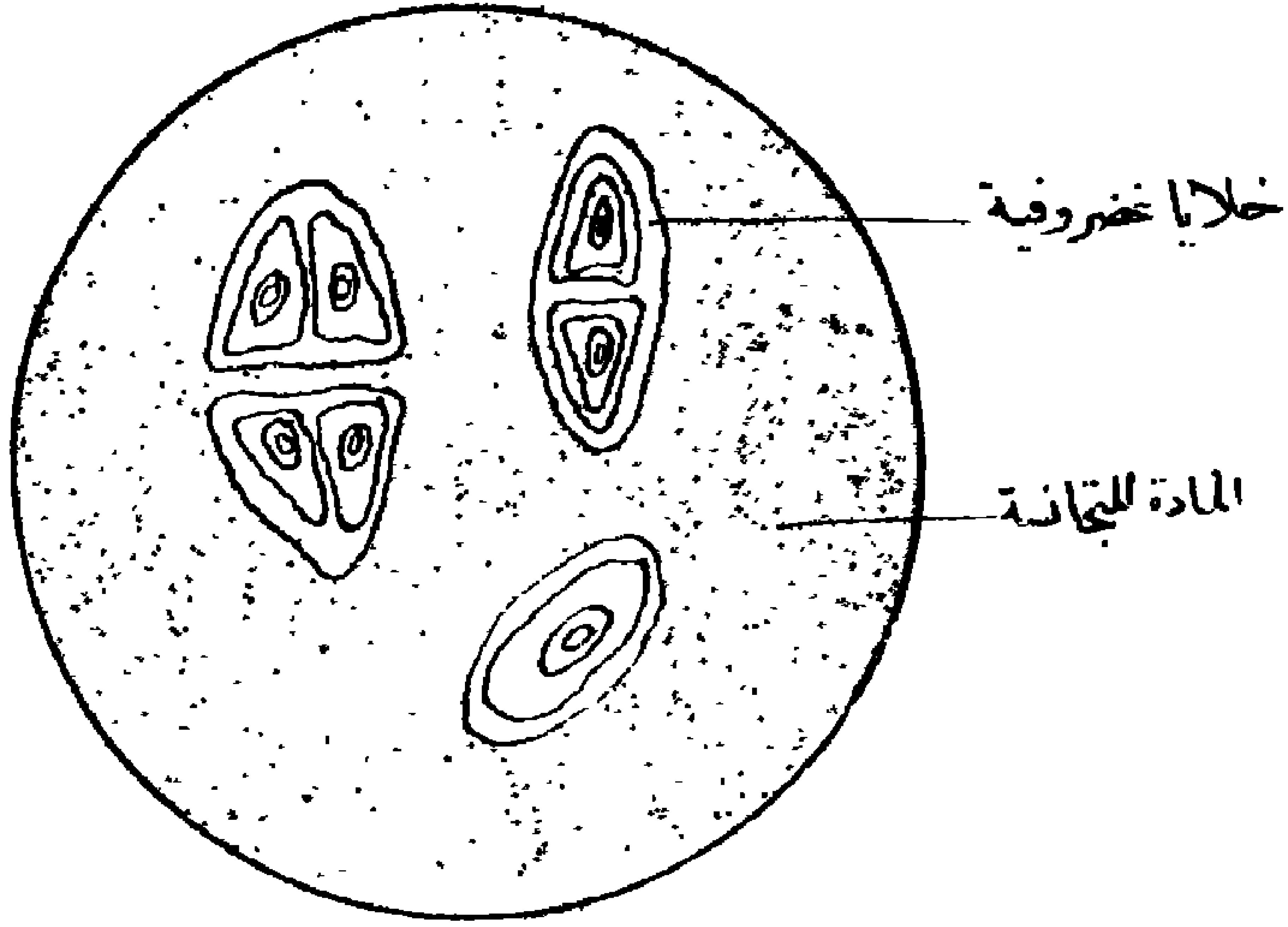
أو تنعدم — فيه الألياف المطاطة. وتكوّن الألياف التي به شبكة ضيقة يتخللها شبكة أخرى من الخلايا وهناك بعض الأدلة على أن الألياف فى النسيج الشبكى تختلف عن الألياف الأخرى وتكون نوعاً خاصاً بها.

والنسيج الليمفاوى عبارة عن نسيج شبكى تحتوى عيونه على عدد كبير من الخلايا الليمفاوية. ومن أمثلة هذا النسيج الغدد الليمفاوية واللوز الحلقية وكرات ملبيجى (Malpigian corpsucles) فى الطحال.

(٦) **النسيج الضام المشابه للجيلاتين**: ويوجد هذا النسيج فى الجنين حول الأوعية الدموية والحبل السرى (Umblical cord). ويوجد بعد الولادة فى الجسم الزجاجى للعين (Vitrious humour). وتوجد الخلايا والألياف فى هذا النسيج مبعثرة ومتباعدة وقليلة وبذا تظهر المادة المتجانسة التى بين الخلايا فى هذا النسيج على العناصر الأخرى، وهذا ما يميزه عن غيره وتتركب هذه المادة من الماء والمخاطين وأملاح غير عضوية خصوصاً كلورور الصوديوم.

(٧) **الغضروف**: ينقسم الغضروف قسمين: الغضروف الهلامى (Hyaline Cartilage) وهو على ما يظهر، خال من الألياف؛ والغضروف الليفى (Fibrous Cartilage) الذى يحتوى على الألياف. وقد تكون الألياف بيضاء ويسمى النسيج حينئذ بالغضروف الليفى الأبيض؛ وقد تكون مطاطة ويسمى بالغضروف الليفى المطاط. وترى الخلايا الغضروفية (شكل ٩) إما مفردة وإما فى مجاميع تحتوى على خليتين أو أربع أو ثمان، مما يدل على تكوين المجاميع من خلية واحدة تنقسم إلى اثنتين ينقسم كل منهما مرة أخرى وهكذا. ويحيط بالخلايا عادة غلاف أو أكثر من المادة المتجانسة يتميز عن باقى هذه المادة فى أنه يصبغ بالهياتوكسلين (Haematoxilin) بدرجة أشد عن الباقى وللخلايا شكل ذى زوايا ولكن جانب الخلية الذى يواجه خلية

أخرى فى المجموعة يكون مسطحاً . وقد يوجد فى پروتوپلازم الخلايا الرائقة نقط دهنية ، وفى العادة نشاء حيوانى (Glycogen) • ويوجد الغضروف



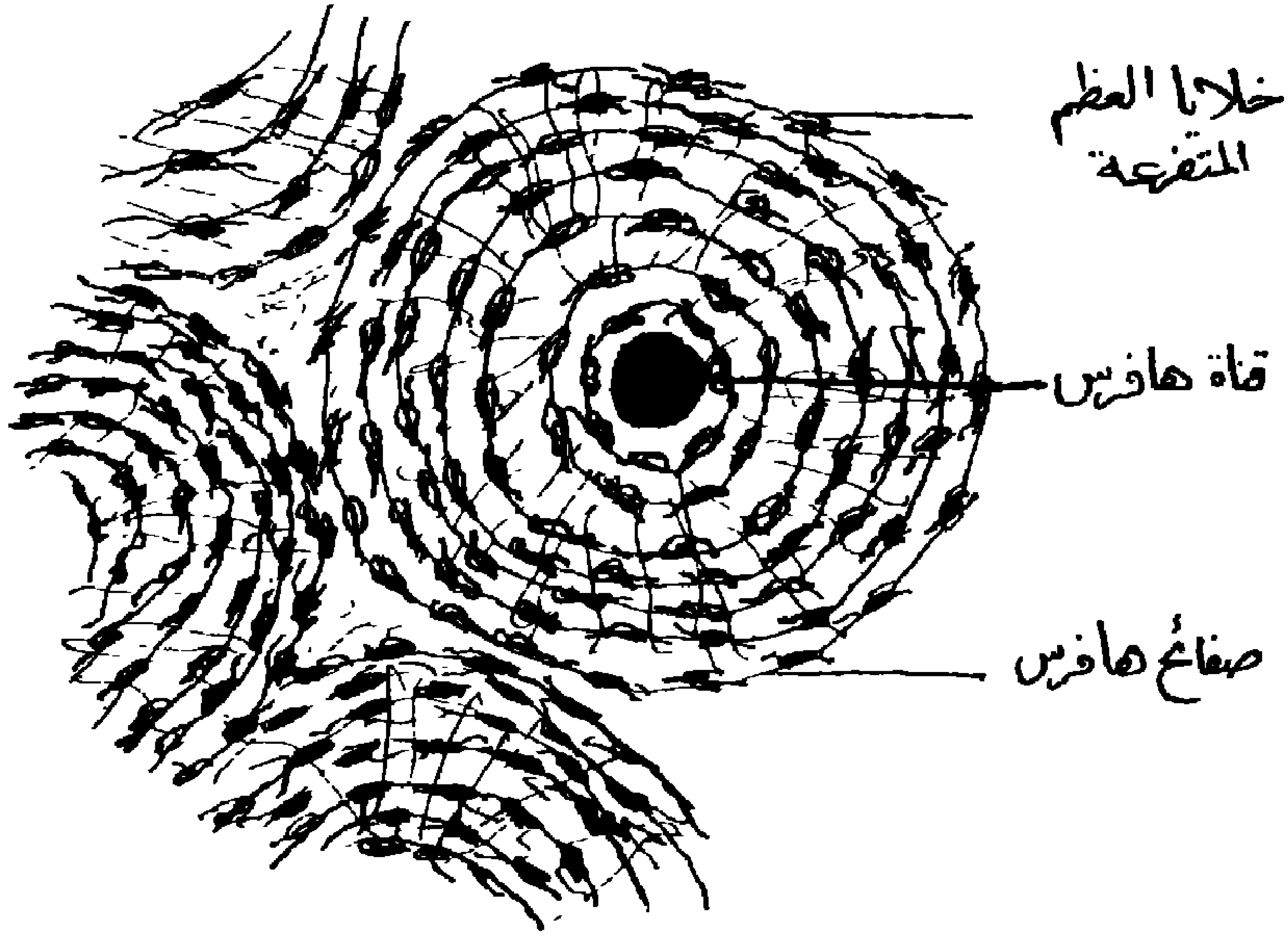
(شكل ٩)

الهلامى فى غضاريف الأضلاع والأنف والقصبة الهوائيـة وفى الصماخ الأذنى الخـارجى (External auditory meatus) وفى معظم الغضاريف الحنجرية . وتغطى النهايات المفصلية للعظام بالغضروف الهلامى ؛ وفى هذه الحالة يسمى بالغضروف المفصلى . ويكوّن الغضروف الهلامى معظم العظام قبل تكلسها . وبإغلاء المادة المتجانسة للغضروف الهلامى نحصل على المركب الكيميائى كوندرين (Chondrin) ؛ وهو مخلوط من الجيلاتين ومواد مخاطية .

ويكون الغضروف الليفى الأبيض الأقراص التى بين الفقرات ، وكذا يكسو السطوح المفصلية المقعرة كحق الفخذ (Acetabulum) وحقة الكتف (Glenoid cavity) . وهو نسيج قوى جداً ويوجد الغضروف الليفى المطاط فى صيوان الأذن الخارجية (Pinna) وفى لسان المزمار (Epiglottis) وفى أنبوبة استاكيوس (Eustachian tube) . والخلايا فى هذا النوع مستديرة أو بيضية ويوجد فى المادة بين الخلايا كثير من الألياف المطاطة الدقيقة

مكونة من شبكة حول الخلايا . والمساحات التى تحيط بالخلايا مباشرة خالية من الألياف .

(٨) **العظم** : العظم عبارة عن نسيج ضام ترسبت فيه أملاح الكالسيوم فى المادة المتجانسة التى بين الخلايا . وإذا امتحن قطاع مستعرض (شكل ١٠)



(شكل ١٠)

من عظمة طويلة — كعظمة العضد أو غيرها تحت الميكروسكوب وجدت ألياف النسيج الضام مرتبة على شكل طبقات مستديرة بعضها مركب تحت السمحاق (Periosteum) مباشرة ، ومركز الدوائر فى هذه الحالة هو الفراغ النخاعى ، وتسمى هذه بالطبقات المحيطية (Circumferential Lamellae) ؛ وبعضها أصغر قطراً ومركب حول قنوات يوجد بها الأوعية الدموية تسمى قنوات هافرس (Haversian Canals) . ويوجد عدة من هذه الطبقات مركبة داخل بعضها على شكل البصلة حول كل قناة . وتسمى هذه الطبقات بطبقات هافرس (Haversian Lamellae) . هذا وهناك طبقات أخرى تملأ المساحات الموجودة بين طبقات هافرس وتسمى طبقات خللية (Interstitial Lamellae)

وتوجد فراغات (Lacunae) بين طبقات هافرس . وهذه الفراغات متفرعة وغير منتظمة الشكل ، وتتصل فروع كل منها بفروع الفراغات المجاورة . وتحتوى هذه الفراغات على خلايا العظم .

ويمكن تمييز نوعين مختلفين من العظام عند مشاهدتها بالعين المجردة ، وذلك من حيث التركيب : أولها يسمى بالعظم المحكم (Compact bone) ؛ وثانيهما بالعظم الاسفنجى (Cancellous bone) . والأطراف المفصلية للعظام الطويلة مغلفة بطبقة من العظم المحكم ، فى حين يتكون الجزء الداخلى منها من العظم الاسفنجى . أما القصبة فتكون من طبقة سميكة من العظم المحكم تحيط بقناة متوسطة تحتوى على نخاع العظم (Marrow) .

والنخاع نوعان : نخاع أحمر وآخر أصفر . ويملأ الأول فراغات النسيج الاسفنجى وبه كثير من الأوعية الدموية وخلايا خاصة تسمى خلايا النخاع ؛ ومنها تتكون كرات الدم البيضاء . وهناك خلايا أصغر حجما لها نواة ولها لون كرات الدم الحمراء ، ومنها تنشأ كرات الدم الحمراء وتسمى "Erythroblast" . ويوجد عدا ذلك خلايا دهنية وعدد قليل من خلايا كبيرة متعددة النواة تسمى الخلايا العونية (Giant cells) .

أما النخاع الأصفر فيملأ فراغ العظام الطويلة ويحتوى على خلايا دهنية كثيرة وقليل من الأوعية الدموية .

ويتركب العظم كيميائياً من ٢٥ ٪ ماء ؛ ومعظم البـــاقى فوسفات الكالسيوم ؛ وبه قليل من كربونات الكالسيوم وفوسفات المغنسيوم والكولاچين الذى يتحول بالغليان إلى چيلاتين .

النسيج العضلى

يعرف هذا النسيج عادة باللحم والعضلات هى أعضاء الحركة. و تنقسم العضلات ثلاثة أقسام :

١ — عضلات إرادية أو هيكلية (Voluntary or Skeletal muscles) وهى الخاضعة للإرادة .

٢ — عضلات غير إرادية أو حشوية (Involuntary or Visceral)

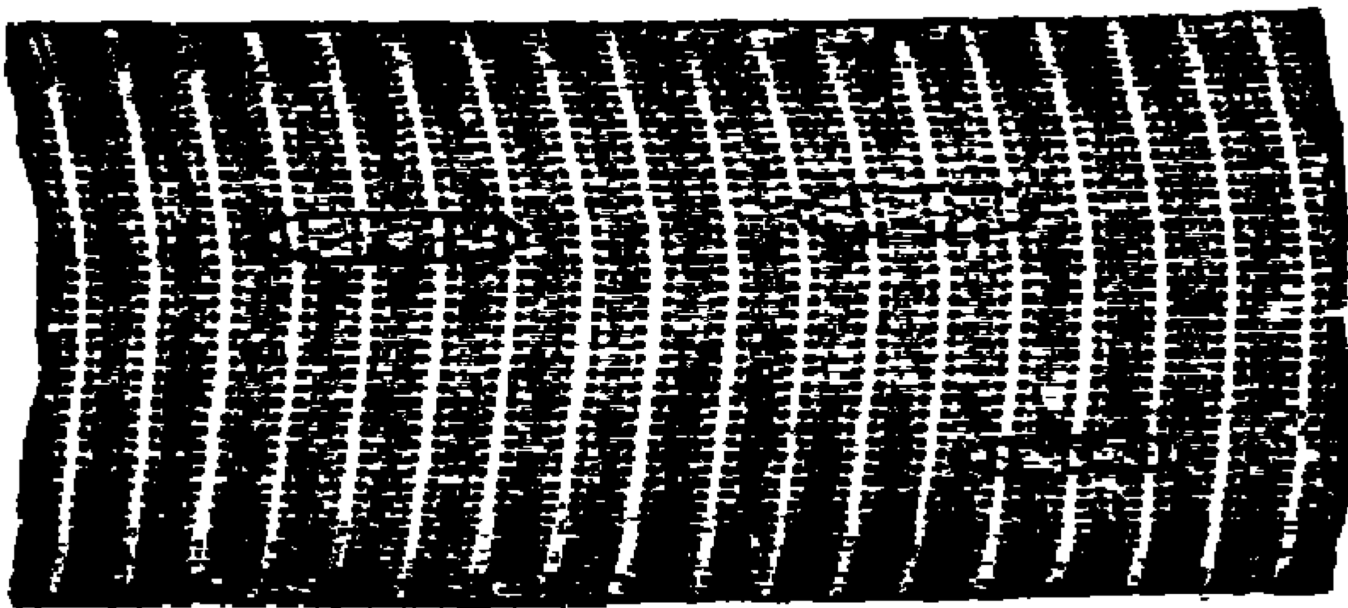
٣ — عضلة القلب (Cardiac muscle) .

ولو أن عضلة القلب غير إرادية إلا أنها تختلف فى تركيبها الميكروسكوبى عن العضلات الغير الإرادية الأخرى ؛ ولذلك كونت نوعا بمفردها .

ويتركب النسيج العضلى من خيوط صغيرة تسمى بالألياف العضلية ويحيط بها نسيج ضام . وتختلف الألياف العضلية عن ألياف النسيج الضام فى أن الأولى تنشأ من الخلايا نفسها ، وذلك باستطالة الخلية لتكوين الألياف . أما ألياف النسيج الضام فتنشأ فى المادة التى بين الخلايا .

العضلات الارادية أو الهيكلية

مع أن الألياف التى تتركب منها هذه العضلات تختلف كثيراً عن بعضها من حيث السمك والطول إلا أن شكلها غالباً أسطوانى ونهاياتها مستديرة ومعظمها يتصل بالعظم بوساطة وتر . ومتوسط قطر الألياف $\frac{1}{30}$ من المليمتر . ومتوسط الطول نحو ثلاثة سنتيمترات ونصف . ولا تتفرع هذه



(شكل ١١)   عن شيفر

العضلات إلا فى حالة عضلات الوجه واللسان ، والألياف فى هذه الحالة أدق من ألياف معظم العضلات الارادية .

وتتركب كل ليفة عضلية (شكل ١١) من غلاف متجانس ومطاط يسمى ساركولما (Sarcolemma) بداخله المادة القابلة للانقباض .

تحتوى الألياف على عدة نوايات بيضية الشكل موضعها تحت الساركولما مباشرة فى عضلات الثدييات ، أما فى عضلات الضفدعة فتوجد فى سمك الليف العضلى . ويحيط بالنواة غالباً قليل من البروتوبلازم المحبب . وتتكون المادة القابلة للانقباض من أعمدة طولية تسمى ساركوستيل (Sarcostyles) (شكل ١٢) يوجد بينها مادة شفافة تسمى ساركوبلازم (Sarcoplasm) . وتعطى هذه الأعمدة لليفة العضلية تخطيطاً طوليا وفضلا عن هذا التخطيط الطولى تظهر العضلات الإرادية تخطيطاً عرضياً يقسم الأعمدة الطولية إلى أقراص مضيئة ومعتمة على التوالى . ويوجد فى وسط كل قرص مضىء خط يسمى غشاء كراوس (Krause's membrane) وفى وسط كل قرص معتم خط آخر واضح دقيق يسمى خط هنسن (Hensens. line) . ويسمى جزء العمود الطولى الذى يقع بين كل غشائين من أغشية كراوس بالسركومير (Sarcomere) . وهو يتكون من جزء معتم فى الوسط يحيط به من كل ناحية نصف قرص مضىء (شكل ١٢) .



(شكل ١٢)
١ — خط هنسن
٢ — غشاء كراوس
٣ — سركومير
(عن شيفر)

وتجمع الألياف العضلية فى حزم بوساطة نسيج ضام خلالى ، ويحيط بالعضلة كلها نسيج ضام ليفى . وتمر الأوعية الدموية إلى العضلة فى النسيج الخلالى الذي بين الألياف ولا تخترق السركولما بتاتاً .

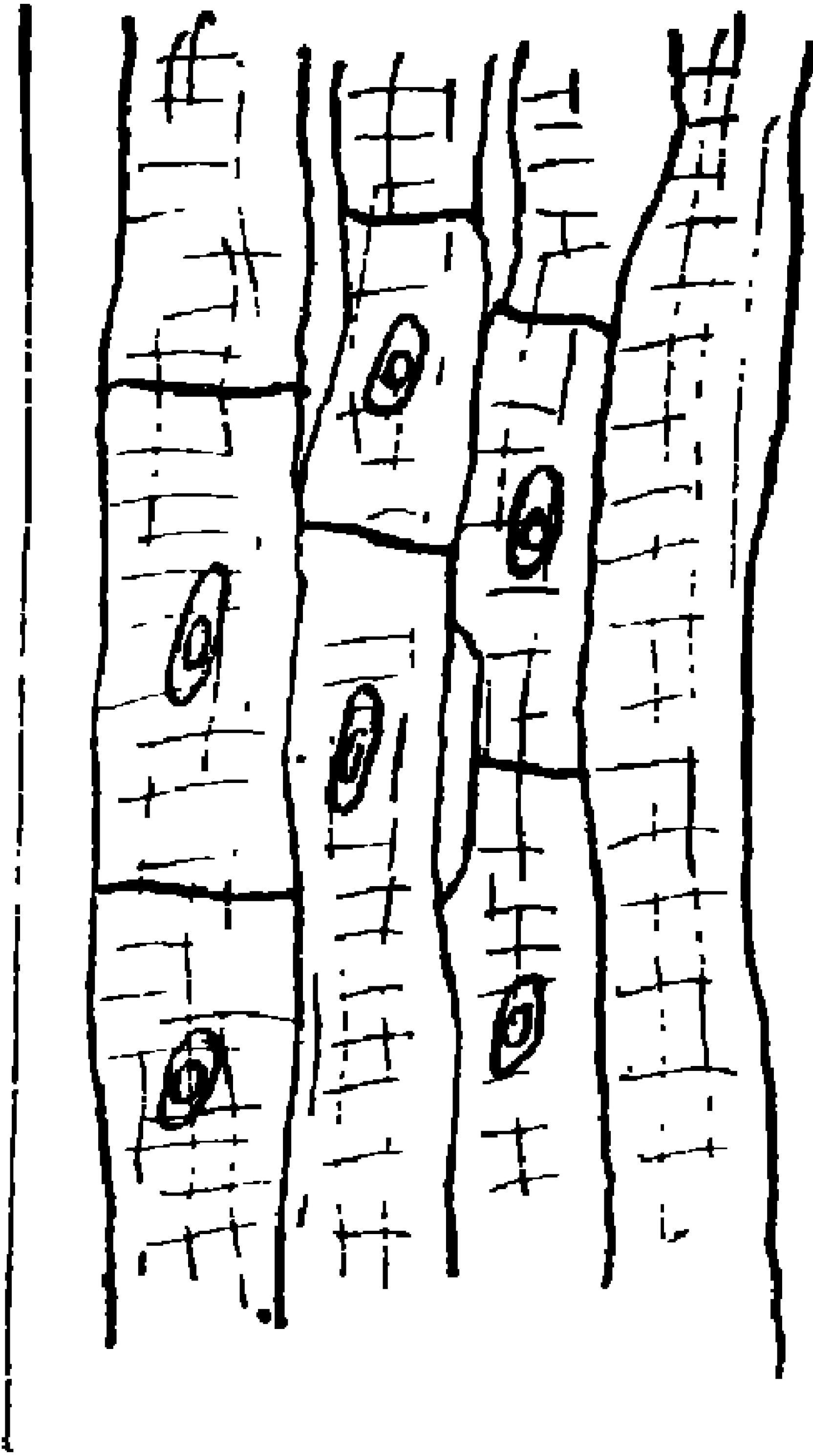
الألياف الحمراء والألياف البيضاء

هناك نوعان من الألياف العضلية الارادية : ألياف حمراء وألياف بيضاء. ويظهر ذلك واضحاً فى بعض الحيوانات — كالأرنب والدجاج — حيث نرى لبعض العضلات لوناً أحمر طوبيا ، فى حين أن بعضها الآخر عديم اللون وقد يوجد النوعان من الألياف بجوار بعضهما فى العضلة الواحدة . وقد لوحظ فى الأرنب أن العضلات الحمراء بطيئة الانقباض بعكس العضلات البيضاء . ومع أن الفرق بين ألوان العضلات فى الحيوانات الأخرى — كالقط والكلب والانسان — ليس واضحاً كما هو الحال فى الأرانب والدجاج إلا أن بعض عضلات هذه الحيوانات ينقبض أيضا بسرعة وبعضها ينقبض ببطء مما يدل على أن سرعة الانقباض أو بطئه ليس متعلقا تماما باللون . واللون الأحمر نتيجة لوجود مادة تشبه هيموجلوبين الدم بالعضلات . وتمتاز العضلات الحمراء فى الأرنب ، أو العضلات التى تماثلها فى الحيوانات الأخرى، بأنها أكبر حجما ومعتمة وبها كثير من السركوبلازم ، مما يجعل تخطيطها الطولى واضحا ، وأما التخطيطات العرضية فغير منتظمة . ويوجد بالألياف الحمراء كثير من النوايات ليس فقط تحت السركولما بل فى سمك الليفة أيضاً. وتحتوى الألياف الحمراء على حبوب كثيرة مكونة غالبا من مادة دهنية تختفى فى حالة صيام الحيوان . وأما الألياف البيضاء فهى رائقة وأصغر حجما وبها قليل من السركوبلازم ولا تخزن حبوبا دهنية .

وكما رأى بعض العلماء توجد فروق أخرى من حيث وظيفة هذه الألياف العضلية ، وسنذكرها بالتفصيل فيما بعد (باب النشاط العضلى (Muscle tone) بالجزء الثالث) .

عضلة القلب

تشبه عضلة القلب (شكل ١٣) العضلات الهيكلية فى كونها مخططة ؛ وتختلف بذلك عن العضلات الغير الإرادية . ولعضلة القلب صفات مميزة خاصة بها إذ تتحد الألياف فى مواضع كثيرة بوساطة أفرع قصيرة مع بعضها . والألياف أصغر من ألياف العضلات الهيكلية العادية ، وتخطيطها العرضى أقل وضوحا ؛ وليس لها سركولما ، ونواتها موجودة فى وسط الليفة . والألياف العضلية متصلة ببعضها ومكونة كتلة مستمرة من البروتوبلازم (Syncitium) .

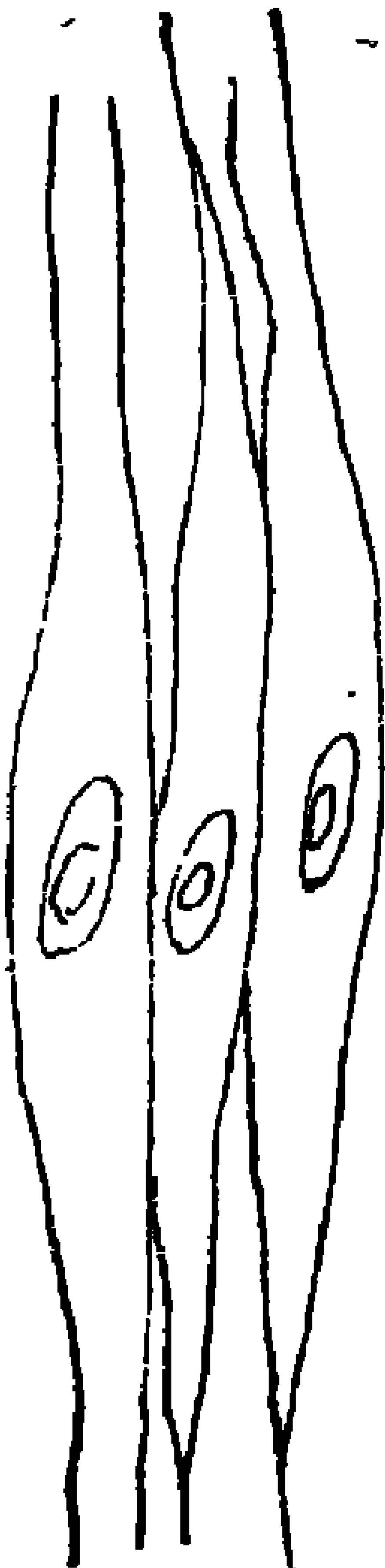


(شكل ١٣)

العضلات الغير الأرادية

تتركب هذه العضلات من أليـــاف صغيرة (شكل ١٤) مغزلية الشكل لها نواة بيضية عادة تحتوى على نوية أو نويتين (nucleoli) . وهى مخططة تخطيطاً طولياً ضعيفاً وليس بها تخطيط عرضى ؛ وليس لها سركولما حقيقية . ولـكن يحيط بها غشاء رقيق من البروتوبلازم ؛ ويدعم الألياف مع بعضها مادة ضامة تصبغ بوساطه أزوتات الفضة ؛ ويمر بها من خلية إلى أخرى زوائد دقيقة .

وتوجد العضلات الغير الادارية فى جدران كثير من الأمعاء الداخلية — كالقناة الهضمية والمثانة البولية والشرايين والأوردة وغيرها .



(شكل ١٤)

النسيج العصبي

يتركب النسيج العصبي من خلايا عصبية والخلايا العصبية على جملة أنواع تختلف فى الشكل والحجم بحسب موضعها من الجهاز العصبي ووظيفتها وتتكون على العموم كل خلية عصبية من جزءين وهما جسم الخلية وفروعها وتوجد أجسام الخلايا بالجهاز العصبي الرئيسى — أى المخ والنخاع الشوكى. ويوجد عدد قليل منها فى عقد عصبية موجودة خارج المخ والنخاع الشوكى وأما الفروع فهى تربط المراكز العصبية بعضها ببعض كما تربط الجهاز العصبي الرئيسى بأنسجة الجسم المختلفة وتسمى الفروع بالأعصاب .

ويمكن تقسيم الأعصاب قسمين بحسب وظيفتها :

١ — أعصاب واردة (afferent) وهى التى تمر بها الاشارات من أعضاء الجسم المختلفة إلى الجهاز العصبي الرئيسى .

٢ — أعصاب صادرة (efferent) وهى التى تمر بها الاشارات من الخلية العصبية إلى خلية عصبية أخرى أو إلى أعضاء الجسم المختلفة .

وليس هناك فرق بين التركيب الميكرسكوبى للأعصاب الواردة والصادرة وسنتكلم عن التركيب الميكروسكوبى للنسيج العصبي فى الجزء الثالث .

الباب الثالث

التركيب الكيمائى للپروتوپلازم

١ — العناصر :

توجد العناصر الآتية فى كل الكائنات الحية : الكربون والايدروجين والاوكسيجين والأزوت والكبريت والفوسفور والكلورين والبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم والنحاس والحديد . وهناك عناصر أخرى موجودة فى بعض الكائنات دون الأخرى ، ومنها اليود والفلورين والبرومين والألومنيوم والنيكل والكوبلت والزنك والرصاص والفضة والكادميوم والليثيوم والاسترونشيوم والمنجنيز والسليكون

وتحصل الكائنات الحية على مايلزمها من هذه العناصر من الوسط المحيط بها . فكل هذه العناصر موجودة فى القشرة الأرضية ، ووجودها شرط ضرورى فى الحياة ، فإذا ما كان أحد هذه العناصر الضرورية لتكوين البروتوبلازم قليلا فى الوسط المحيط به فإنه يحدد نمو الكائنات الحية فى هذه التربة . فمثلا نرى أن نمو نبات فى أى تربة يقدر بكميات البوتاسيوم والأزوت والفوسفور الموجودة فى تلك التربة .

٢ — المركبات :

ولا توجد هذه العناصر فى الكائنات الحية منفردة ولكنها تتحد مع بعضها وتكون مركبات كيمائية ولو أنه فى أحوال قليلة توجد بعض عناصر منفردة — مثال ذلك الأوكسيچين فى الدم . وتنقسم المركبات إلى عضوية وغير عضوية . فأما المواد الغير عضوية فيوجد معظمها فى الهيكل العظمى ،

كأملاح فوسفات وكربونات الكالسيوم ؛ وتوجد بمقادير أقل فى الدم وبقية أنسجة الجسم كـكلور الصوديوم والبوتاسيوم وغيرها .

ويمكن تقسيم المركبات العضوية إلى ثلاثة أقسام وهى :

أولا : الدهنيات ، وتحتوى على ك ، يد ، ا وأحياناً فو ، ز

ثانياً : مائيات الكربون ، وتحتوى على ك ، يد ، ا

ثالثاً : البروتينات ، وتحتوى على ك ، يد ، ا ، ز وعادة كب وفو

المواد الدهنية (Lipides)

وتنقسم إلى

١ — مواد دهنيـــــة بسيطة (Simple lipides) : وهى الدهون (Fat) والشموع (Waxes) ، واسترات الكوليسترول (Cholesterol esters) والأيسترولات الأخرى .

٢ — مواد دهنية مركبة (Compound lipides) : وهى الفسفوليبيد (Phospholipides) ، والجلوكوليبيد (Glucolipides) ، والأمينوليبيد Aminolipides) .

المواد الدهنية البسيطة

الدهود : تتكون الدهون البسيطة من جليسرين وأحماض دهنية . ويبين الرمز الآتى جزىء الجليسرين مع ثلاثة جزيئات من الأحماض الدهنية لتكوين جزىء دهن بسيط

ك يد$_{٢}$ ا يد   (١) ك$_{١٧}$ يد$_{٣٠}$ ك ا ا يد [حامض ستياريك]

ك يد ا يد + (٢) ك$_{١٥}$ يد$_{٣١}$ ك ا ا يد [حامض بالميتيك]

ك يد$_{٢}$ ا يد   (٣) ك$_{١٧}$ يد$_{٣٣}$ ك ا ا يد [حامض أوليك]

وقد تكون الأحماض الدهنية المتحدة مع جزىء الجليسرين كلها متماثلة أو تكون مختلفة . وثلاثى البالميتين والاستيارين عبارة عن مواد شمعية بيضاء . أما ثلاثى الأوليين فهو مادة زيتية سائلة . والأحماض الدهنية المناظرة لهذه الأنواع تشبهها جداً فى الخواص .

وتتوقف الخواص الطبيعية للدهون على نسبة الپالميتين والاستيارين والأوليين الموجودة بها . وكلما زادت نسبة حامض الأوليك اتجهنا نحو السيولة ، والكثافة النوعية للدهون أقل من الوحدة ؛ ولا تذوب الدهون فى الماء ولكنها تذوب فى الأثير والبنزين والكلوروفورم والكحول الساخن وغيرها من مذيبات الدهون . وللدهون الطبيعية درجة انصهار خاصة .

ومع أن الدهون غير قابلة للذوبان فى الماء إلا أنه إذا كان الوسط قاعدياً يمكن الحصول على محاليل مائية غروية للدهون فى وجود المواد التى تقلل الشد السطحى لها مثل الصابون وأملاح المرارة والساپونين وغيرها مما يكون مستحلباً ثابتا للدهن فى الماء . وتكوين المستحلب من الدهون فى الأمعاء مهم جداً لعملية هضمها .

الشموع : وهى أسترات أحماض دهنية لكحولات أحادية الذرية ولها درجة انصهار أكثر ارتفاعا من الدهون وقابلة للتحليل بوساطة القواعد بصعوبة ؛ ولا يمكن تحليلها بخميرة الليپيز ؛ وهى غير قابلة للذوبان فى الماء ؛ ولا تستعمل الشموع كغذاء . ومن أمثلتها شمع النحل .

أسترات الكولسترول (Cholesterol esters) : وهى منتشرة جداً فى الحيوانات وتوجد فى الدم والليمف والغمد النخاعى للأعصاب . وقشرة الأدرينال والحويصلة المرارية والغدد الدهنية الموجودة بالجلد والتى تفرز زيتاً طبيعياً للشعر والريش .

الكوليسترول (الأيسترول الحيوانى) ك$_{٢٧}$ يد$_{٤٥}$ ا يد . وهو كحول

غير مشبع أحادى الايدروكسيل — متجمد فى درجة الحرارة العادية

ويوجد الكوليسترول بكميات قليلة فى دهون الحيوانات وفى الصفراء والدم واللبن وصفار البيض والغمد النخاعى والكبد والكليتين وغدد الأدرينال .

والكوليسترول غير قابل للذوبان فى الماء غير أنه يمكن جعله قابلا للذوبان بوساطة أملاح الصفراء والليسثين .

الأرجوستيرول (الأيسترول النباتى) — عند تعريضه للأشعاع الفوق البنفسجى يتكون منه كالسيفرول ، احد مركبات ڤيتامين د .

حامض الكوليك — ومشتقاته (أملاح جليكوكوليك وتوروكوليك) . وهى أملاح الصفراء ويشتق حامض الكوليك من الأيسترول عن طريق الأكسده .

وهناك مشتقات أخرى من الكوليسترول بالجسم كهرمونات الغدد التناسلية : مثـــل الاسترين (œstrin) والبروجسترون (Progesterone) والتستسترون (Testesterone) .

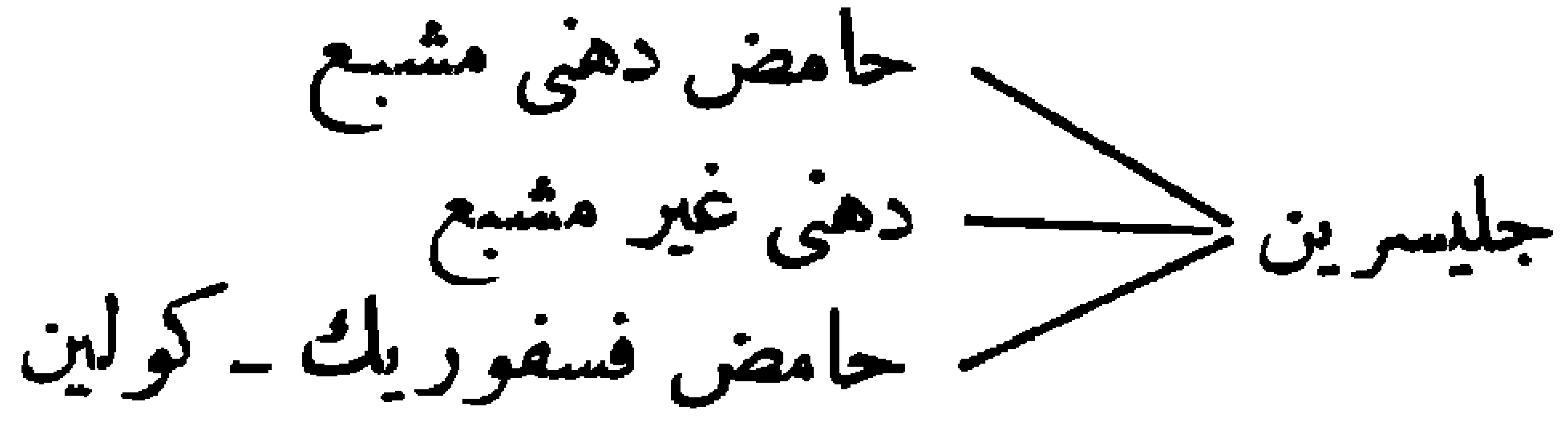
المواد الدهنية المركبة

الفوسفوليبير : وهى تشبه الدهون من حيث خواصها الطبيعية . ويوجد بالجسم منها ثلاثة أنواع مهمة وهى: ليسيثين (Lecithin) وكفالين (cephalin) وسفينجوميلين (Sphingomyelin) . وهذه غير قابلة للذوبان فى الاسيتون ولكنها تذوب فى الكحول .

ويمكن فصل هذه المجاميع عن بعضها بوساطة مذيبات مثل الكحول والأثير التى تذيب بعضا منها دون الآخر .

ويتكون الليسيثين من جليسرين متحداً مع جزيئين من الأحماض الدهنية

عادة أحدهما غير مشبع ـ ومع حامض فوسفوريك متحداً مع القاعدة كولين (Choline) كما يتبين من الشكل الاتى



ويماثل الكفالين الليسيثين فى تركيبه غير أن القاعدة تكون كولامين (choalmine) بدلا من كولين

ويختلف السفنجو ميلين عن الليسيثين فى احتوائه على القاعدة سفنجوزين بدلا من الجليسرين كما وأنه لا يحتوى إلا على حامض دهنى واحد

مائيات الكربون (Carbohydrates)

تتركب مائيات الكربون من الكربون والايدروجين الاوكسيجين ويوجد الايدروجين والأوكسيجين فيها بنسبة ٢ : ١ ، أى نسبة وجودهما فى الماء . ومائيات الكربون ذات أهمية فى كل من النبات والحيوان . ففى النبات أول نتاج لعملية التمثيل الكربونى هو مائيات الكربون ؛ وفى الحيون تكون هذه المواد مصدراً من أهم مصادر الطاقة . وتحتوى معظم مائيات الكربون المهمة فى الحيوان على ست ذرات من الكربون أو مضاعفات هذا العدد . وهناك سلسلة من المركبات تحتوى جزيئاتها على ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ... الخ ذرات كربون ؛ وتسمى ديوزات ، تريوزات ، تتروزات ، بنتوزات ... الخ . (Dioses, trioses, tetroses, pentoses etc.)

البنتوزات (Pentoses): توجد هذه المركبات بنسبة كبيرة فى النبات على شكل مائيات كربون مركبة عديدة التسكر تسمى البنتوزان ؛ وهذه تعطى البنتوز إذا حللت بالأحماض . ومنها الأرابينوز (arabinose) ، ويوجد فى البول فى حالات البنتوزوريا (Pentosuria) وهى نادرة ، ومنها الريبوز (ribose) الذى

يدخل فى تركيب جزىء الحامض النووى (Nucleic acid) الموجود فى نوايا الخلايا . ويمكن استعمال البنتوزات مادة غذائية لآكلة الحشائش ولانعلم شيئاً عما تؤديه فى جسم الحيوان .

الهكسوزات (Hexoses) : أمكن تحضير عدد كبير من السكريات التى تحتوى على ست ذرات من الكربون وتسمى بالهكسوزات ولها الرمز الكيمائى ك٦ يد١٢ ا٦ ولكنها تختلف عن بعضها فى طريقة اتحاد الذرات داخل الجزىء ولكن ليس هناك قيمة فسيولوجية إلا لأربعة منها فقط وهى الجلوكوز أى سكر العنب (glucose) والفركتوز أى سكر الفواكه (fructose)والجالاكتوز(galactose) والمانوز(mannose)وأما الهكسوزات الأخرى فغير قابلة للتمثيل بالخلية الحيوانية .

الجلوكوز : هو السكر الموجود بالعنب ، وهو موجود بالجسم كناتج نهائى لهضم النشاء . وعندما يكون نقياً يكون بلورات بيضاء . ويذوب بسهولة فى الماء ، ويحول محلول الجلوكوز الضوء المستقطب إلى اليمين .

الفركتوز : يوجد مخلوطاً بالجلوكوز فى عسل النحل وفى سكر الفواكه . وهو موجود أيضا متحداً مع الجلوكوز فى سكر القصب . ويتبلور الفركتوز بصعوبة ، ويحول محلوله فى الماء الضوء المستقطب جهة اليسار ، وقوة اختزاله لمحلول فهلنج أقل من قوة الجلوكوز . ويتخمر الفركتوز بخميرة البيرة كما يتخمر الجلوكوز .

الجالاكتوز : ويوجد متحداً مع سكر العنب فى سكر اللبن (Lactose) . ويدخل فى تركيب الجالاكتوسيدات (galactosides) الموجودة بالمخ . وهو أقل ذوباناً فى الماء من الجلوكوز . ويحول الضوء المستقطب جهة اليمين ؛ ويتخمر ببطء بالخميرة العادية . وهناك نوع من الخميرة يسمى (Saccaromyces apiculatus) يخمر الفركتوز والجلوكوز ولكن ليس له تأثير فى الجالاكتوز .

ويمكن استخدام هذه الخميرة لفصل الجالاكتوز من مخلوط من أحاديات التسكر . والجالاكتوز يختزل محلول فهلنج بدرجة أقل من اختزال الجلوكوز.

المانوز : وهو نادر الوجود فى غذائنا حتى إنه لا يلعب دوراً عملياً فى فسيولوجيا الحيوان .

مشتقات الهكسوزات : يوجد مشتقان من الجلوكوز لهما أهمية فسيولوجية ، وهما الجلوكوزامين (glucosamine) وحامض الجلوكورونيك (glucoronic) ويحصل على الجلوكوزامين من الكيتين (chitin) الذى يكون الهيكل الخارجى لعدد كبير من اللافقريات ، وذلك بغليانه مع حامض الكلوردريك المركز . ويدخل الجلوكوزامين فى تركيب الجلوكوپروتين مثل الميوسين ، ومحلوله يحول الضوء جهة اليمين . ويختزل محلول فهلنج .

حامض الجلوكورونيك : ويمكن اعتباره أول نتيجة من أكسدة جزىء الجلوكوز . ويمكن الحصول عليه بأكسدة الجلوكوز بوساطة فوق أكسيد الايدروجين . والجلوكورونات تحول الضوء إلى اليسار ولو أن الحامض المطلق يحوله جهة اليمين . وهى تختزل محلول فهلنج عند ما تكون حرة ولا تتخمر بالخميرة . ويوجد حامض الجلوكورونيك فى البول متحدا مع الفينول والكافور والكلورال وغيرها من المواد السامة كوسيلة لمنع الضرر الذى ينتج منها (detoxication) .

ثنائيات التسكر

تتكون ثنائيات التسكر باتحاد جزيئين من جزيئات أحاديات التسكر مع طرد جزىء واحد من الماء . وبالتحليل المائى — كالغليان مثلا مع الأحماض — تأخذ جزيئاً واحداً من الماء وتتكسر إلى جزيئين من جزيئات أحاديات التسكر . فيعطى سكر القصب أجزاء متساوية من الجلوكوز والفركتوز فى

حين يعطى المالتوز أو سكر الشعير جزيئين من الجلوكوز فى حين يعطى سكر اللبن أو اللاكتوز جزيئاً من الجلوكوز وجزئيا من الجالاكتوز .

سكر القصب : ويتحول بوساطة خميرة البيــرة أو بخميرة انفرتيز (invertase) الموجودة بالعصير المعوى إلى جزىء من سكر العنب وجزىء من سكر الفواكه ؛ ويحول سكر القصب الضوء المستقطب إلى اليمين ولكن العصير الناتج من تحليله بوساطة الخميرة يحول الضوء إلى اليسار . وذلك نظراً لأن قوة تحويل الضوء إلى اليسار بوساطة سكر الفواكه أقوى من قوة تحويل الضوء الى اليمين بوساطة سكر العنب . ومن هنا نشأ اسم الخميرة (inverstase) ، ومعناها الخميرة العاكسة . ولا يختزل سكر القصب محلول فهلنج .

سكر الشعير (مالتوز) : ويتكون من تحليل النشاء بوساطة الخميرة أميليز (amylase) وهو السكر الأساسى فى حبوب الشعير المنبتة . وهو محول شديد للضوء المستقطب لليمين . ويتخمر بسهولة بالخميرة ؛ ويختزل محلول فهلنج . ويتحول سكر الشعير إلى سكر العنب بوساطة الخميرة مالتيز (maltase) الموجودة بالعصير المعوى .

سكر اللبن (لكتوز) : موجود باللبن وهو أقل ذوبانا فى الماء ؛ وطعمه أقل حلاوة من ثنائيى التسكر الآخرين وهو محول جهة اليمين ؛ ولا يتخمر بالخميرة العادية . ويمكن تحليل سكر اللبن بوساطة الخميرة لاكتيز (Lactase) بالعصير المعوى إلى جلوكوز وجالاكتوز . ويختزل سكر اللبن محلول فهلنج

مائيات الكربون العديدة التسكر (polysacccharide)

(ك٦ يد١٠ ا٥) ن

هى مواد مركبة ذات وزن جزيئى عالٍ تتكون باتحاد الجزئيات الأحادية التسكر ببعضها مع طرد الماء

النشاء : (Starch) موجود بكميات كبيرة فى المواد النباتية الغذائية .

ويكون جزءا هاما فى الحبوب والدقيق والبطاطس ؛ ويوجد فى الخلايا النباتية كحبيبات ترى تحت الميكروسكوب مكونة من حلقات ذات مركز واحد. ولا يذوب النشاء فى الماء . وتنتفخ الحبيبات فى الماء الساخن وتنفجر مكونة عجينة سميكة تصير چيلاتينية بالتبريد . ويعطى محلول النشاء الغروى لونا أزرق باضافة اليود . وبالتحليل المائى بوساطة الأحماض أو خمائر الأميليز يتحول النشاء الغروى إلى نشاء ذائب ؛ ثم إلى أرثرو دكسترين ، ثم إلى أكرو دكسترين ، ثم إلى ملتوز .

الجليكوجين (glycogen) أو النشاء الحيوانى : ويشبه النشاء فى التركيب والخواص . وهو موجود بالكبد والعضلات والأنسجة الأخرى بالجسم. وهو مسحوق أبيض يكون محلولا غير رائق فى الماء . ويترسب من محلوله باضافة ٦٠٪ كحولا . ويتحول بالغليان مع الأحماض إلى جلوكوز ويؤثر فيه الأميليز كما يؤثر فى النشاء بالطريقة نفسها . ويعطى النشاء الحيوانى مع اليود لونا أحمر .

الخليوز (cellulose) : ويكون جدار الخلية النباتية . ولذا فهو موجود فى معظم أغذيتنا النباتية . وهو مادة عديمة اللون لاتذوب فى الماء أو الأحماض المخففة أو القواعد ولكنه يذوب فى أكسيد النحاسيك النشادرى . وبالغليان مع الأحماض المركزة يتحلل ويعطى جلوكوزاً . وفى الحيوانات آكلة الحشائش يهضم السليلوز ويكون جزءا هاما من غذائها . ويتحلل بوساطة البكتريا الموجودة فى المعدة الأولى فى الحيوانات المجترة ، وفى المعى الأعور فى الحيونات آكلة الأعشاب الأخرى . ويوجد فى بعض الخلايا النباتية نفسها خميرة تسمى سيتيز (cytase) تحلل الخليوز . ومن حيث إن هذه الخميرة تفسد بالغليان فان العشب المطهى يصير أقل قابلية للهضم من العشب الطازج . وتفرز القناة الهضمية فى بعض الافقريات خميرة السيتيز لتحليله . ولا يهضم الخليوز فى الانسان حيث أن خميره الأميليز لاتؤثر عليه ولكنه ينبه حركات الامعاء ويساعد على عدم وجود الامساك .

٣ – البروتينات

تكون البروتينات أهم جزء فى البروتوبلازم . ويجب أن تكون دائما بالغذاء حتى تتمكن الأنسجة من بناء بروتوبلازم جديد بدلا مما تفقده فى تفاعلاتها المستمرة .

التركيب الاولى : تحتوى كل البروتينات على الأوكسيجين والايدروجين والأزوت والكربون وعادة الكبريت . وقد توجد هذه العناصر فى جزىء البروتينات بالنسبة الآتية على وجه التقريب :

الكربون	٥٢,٥ ٪
الأكسيجين	٢٢,٥ ٪
الأزوت	١٦ ٪
الأيدروجين	٧ ٪
الكبريت	١,٥ ٪
الفسفور	٠,٥ ٪

الصفات الطبيعية : البروتينات مواد عديمة الطعم غروية ، ومعظمها غير قابل للتبلور ، وهى تذوب فى الماء أو محاليل الأملاح الضعيفة أو الأحماض المخففة أو القواعد . وكثير من الزلاليات يتجبن أو يتجمد بارتفاع درجة الحرارة — وتسمى لذلك بالبروتينات القابلة للتجمع . فاذا سخن بياض البيض حتى درجة ٨٠° مئوية يتكون راسب من البروتينات المتجمعة . وهذا التغيير غير عكسى : أى أنه لا يمكن بخفض درجة الحرارة إعادة زلال البيض ثانية إلى حالة السيولة . ويتغير كثير من خواص البروتينات فى عملية التجمع . وقليل من البروتينات — مثل الجيلاتين — تتجمد فى درجات الحرارة المنخفضة ثم تعود فتنصهر ثانية بالتدفئة .

الوزن الجزيئى للبروتينات : قد يمكن الوصول إلى فكرة تقريبية عن أقل وزن لجزىء البروتين بطرق كثيرة ولو أنه غالباً تكون النتائج مشكوكا فى صحتها لصعوبة الحصول على عينة نقية من البروتين ولسهولة تجمع جزيئات البروتين مع بعضها أو ادمصاصها بنسب مختلفة على مواد أخرى . وفيما يلى بعض الطرق التى اتبعت لتقدير الوزن الجزيئى للبروتينات :

أولا : حلل التركيب العنصرى لبعض البروتينات ثم حسب الوزن الجزيئى بفرض أن جزىء البروتينات يحتوى على ذرة واحدة من الكبريت .

وتعطى هذه الطريقة أرقاماً أقل كثيراً من الواقع . وقد أمكن معرفة أقل وزن لجزىء الهيموجلوبين بطريقة مماثلة . فبالتحليل الكيميائى وجد أن جزىء الهيموجلوبين يحتوى على ٠٫٣٣٥ ٪ من الحديد . فإذا فرض أن كل جزىء يحتوى على ذرة واحدة من الحديد كان الوزن الجزيئى ١٦٧٠٠ على الأقل (الوزن الذرى للحديد = ٥٦) .

ثانياً : تمكن أدير (Adair) من تقدير الوزن الجزيئى للهيموجلوبين بوساطة تقدير الضغط الأوزموزى لمحلول نقى منه . وقد وجد أن وزن جزىء الهيموجلوبين يساوى أربعة أضعاف الوزن الذى يحصل عليه باتباع الطريقة الأولى ، أى أن جزىء الهيموجلوبين يحتوى على أربع ذرات من الحديد .

ثالثاً : استعمل سفدبرج (Svedberg) آلة طاردة مركزية سريعة جداً (Ultracentrifuge) (أكثر من ١٠٠٠٠ دورة فى الدقيقة) . وبملاحظة سرعة ركود جزيئات المادة البروتينة أمكنه حساب وزن جزىء البروتينات .

ويبين الجدول الآتى بعض الأوزان التى حصل عليها بهذه الطريقة :

زلال البيض	٤٠٥٠٠
هيموجلوبين	٦٨٠٠٠
زلال السيرم	٦٩٠٠٠
جلوبيولين السيرم	١٥٠٠٠٠

رابعاً: استعمل نورثروب (Northrop) خاصية انتشـــار جزيئات البروتينات لتقدير أوزانهـا الجزئية . وقد حصل بهذه الطريقة على أوزان مشابهة لتلك التى أمكن الحصول عليها بالطريقة الآنفة .

تركيب جزىء البروتين

إذا أغلينا البروتينات مع حامض الكلوردريك مدة طويلة أمكن تحويل البروتينات إلى أحماض أمينية صغيرة . ويمكن الحصول على نفس التحليل بوساطة خمائر العصائر الهضمية . ويوجد بالنباتات أيضاً خمائر (Papain) يمكنها أن تقوم بالعمل نفسه .

الأحماض الأمينية

هى نتاج التحليل المائى للبروتينات . ويذوب معظم الأحماض الأمينية فى الماء وتنتشر بسهولة . وكل محاليل الأحماض الأمينية الطبيعية التى نحصل عليها من تحليل البروتينات المائى لها القدرة على تحويل الضوء المستقطب ما عدا الجليسين . وأما الأحماض التى تركب بالمعمل فهى غير فعالة . ويوجد بكل حمض أمينى المجموعة القاعدية ز يد$_{٢}$ والمجموعة الحامضـية ك ا ا يد ؛ وتعطى هاتان المجموعتـان لجزىء الحمض الأمينى صـــفة مزدوجة (Amphoteric property). ففى وجود حامض قوى — كحامض الكلوردريك — يمكن اتحاد الحامض الأمينى معه مكوناً مثلا جليسين هيدروكلوريد . وفى وجود القواعد تتكون الأحماض الأمينية مركبات مثل أمينوخلات البوتاسيوم.

وتتحد الأحماض الأمينية مع بعضها كما يتحد الحامض مع القاعدة . فتتحد مجموعة ز يد$_{٢}$ من حامض أمينى مع مجموعة ك ا ا يد من حامض آخر وسمى الاتصال — ك ا . ز يد — بالرابطة البيتيدية (Peptide linkage) . ولما كانت المواد البروتينية مكونة من عدد كبير من الأحماض الأمينة فإننا نجد

أن للبروتينات نفس الصفة المزدوجة ، أى أن جزىء البروتين يمكنه أن يوجد على هيئة أملاح مع الحوامض أو القواعد أو فى الحالة المطلقة. ويتوقف ذلك على درجة تركيز أيونات الأيدروجين فى المحلول. فلكل جزىء بروتين درجة تركيز أيدروجينى معينة لا يتحد الجزىء فيها مع الأحماض أو القواعد بل يظل كبروتين مطلق ؛ وتسمى هذه الدرجة نقطة التشابه الكهربائى (Isoelectric point) . فاذا زادت كمية أيونات الأيدروجين عن هذه الدرجة شابه جزىء البروتين القواعد واتحد مع الأحماض . وأما إذا قلت أيونات الأيدروجين عن درجة التشابه الكهربائى فان جزىء البروتين يشابه الأحماض ويتحد مع القواعد .

ويبين الجدول الآتى تقسيم الأحماض الأمينية وتركيبها :

الأحماض أحادية الأمين أحادية الكربوكسيل

١ — جليسين (Glycine) ز يد$_{٢}$. ك يد$_{٢}$. ك اا يد

٢ — الانين Alanine ك يد$_{٣}$. ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك اا يد

٣ — سرين Serine يد ا . ك يد$_{٢}$. ك يد (ز يد$_{٢}$) ك اا يد

٤ — ثريونين Threonine

يد ا . ك يد$_{٢}$. ك يد$_{٢}$. ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك اا يد

٥ — ميثونين Methionine

ك يد$_{٣}$. كب . ك يد$_{٢}$. ك يد$_{٢}$. ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك اا يد

٦ — ڤالين Valine (ك يد$_{٣}$)$_{٢}$: ك يد . ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك اا يد

٧ — كاپرين Caprine

ك يد$_{٣}$. ك يد$_{٢}$. ك يد$_{٢}$. ك يد$_{٢}$. ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك اا يد

٨ — ليوسين Leucine

(ك يد$_{٣}$)$_{٢}$: ك يد . ك يد$_{٢}$. ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك اا يد

٩ — أيسوليوسين Isoleucine

ك يد$_{٣}$. ك يد$_{٢}$. ك يد (ك يد$_{٣}$) . ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك اا يد

١٠ — فينيل ألآنين Phenylalanine



١١ — تيروزين Tyrosine



الأحماض أحادية الأمين ثنائية الكربوكسيل

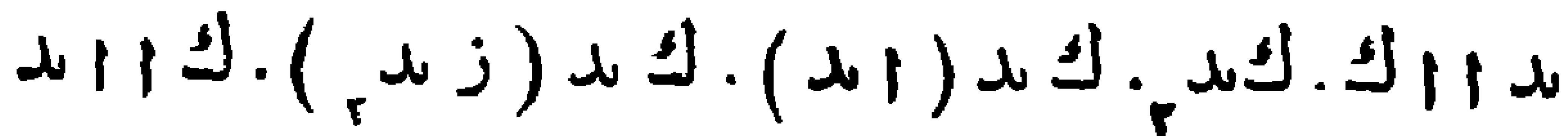
١٢ — حمض اسبارتيك Aspartic acid



١٣ — حمض جلوتاميك Glutamic acid

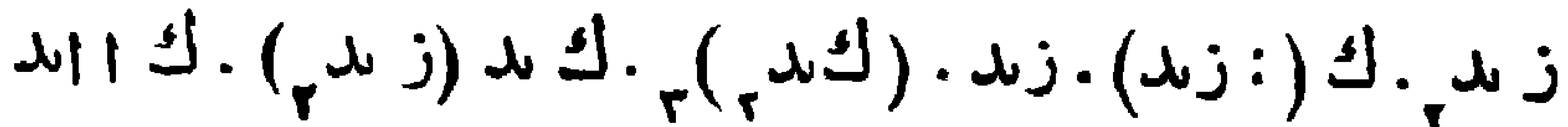


١٤ — حمض هيدروكسيجلوتاميك Hydroxyglutamic acid



الأحماض ثنائية الأمين أحادية الكربوكسيل

١٥ — ليسين Lysine



١٦ — أرجينين Arginine



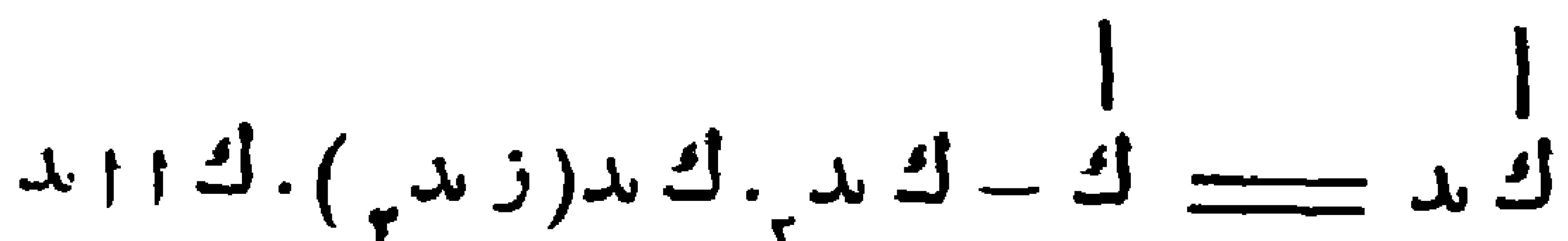
١٧ — أورنيثين Ornithine



١٨ — سيترولين Citrulline

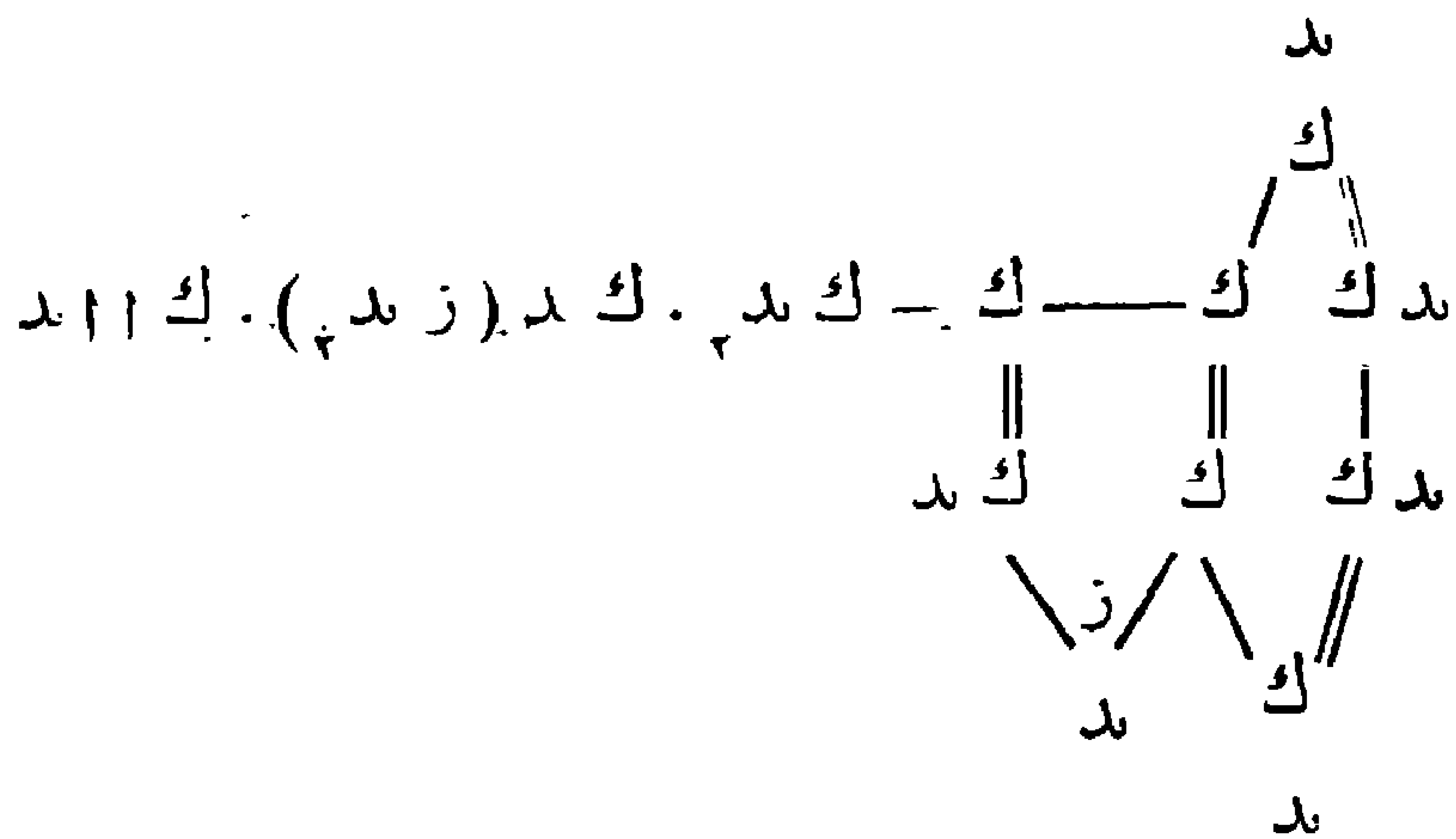


١٩ — هيستيدين Hi stidine



حمض أمينى به نواة الاندول

٢٠ — تربتوفان Tryptophane

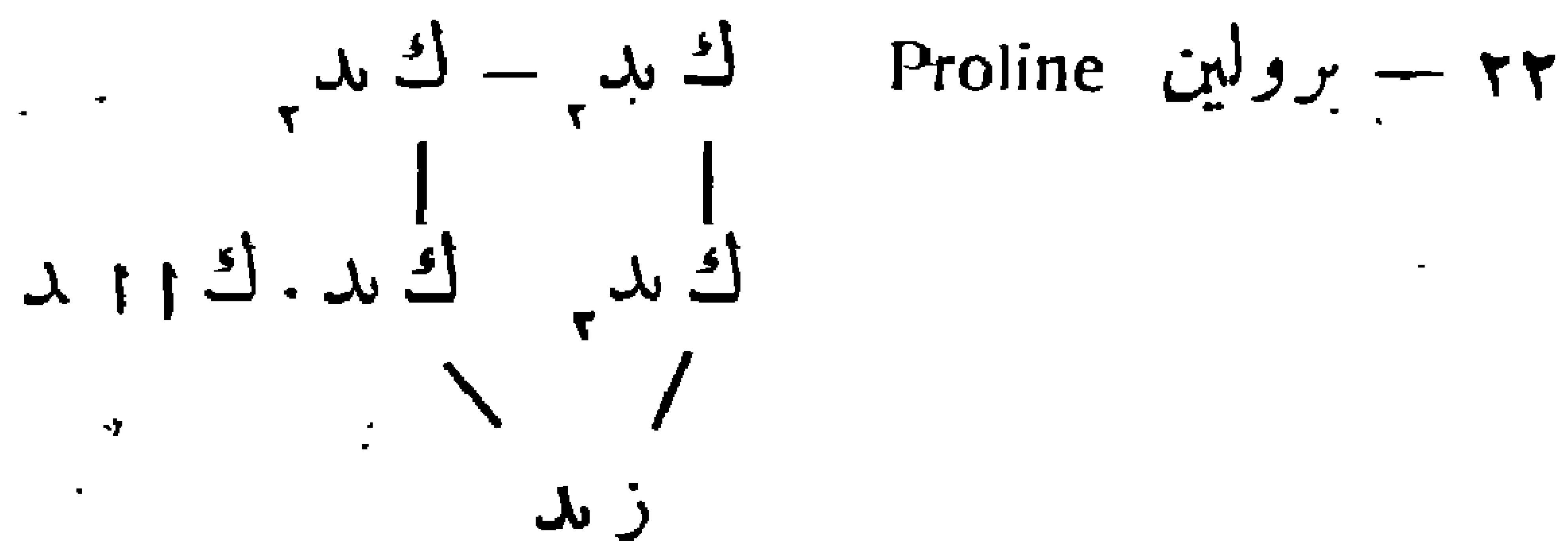


حمض ثنائى الامين ثنائى الكربوكسيل

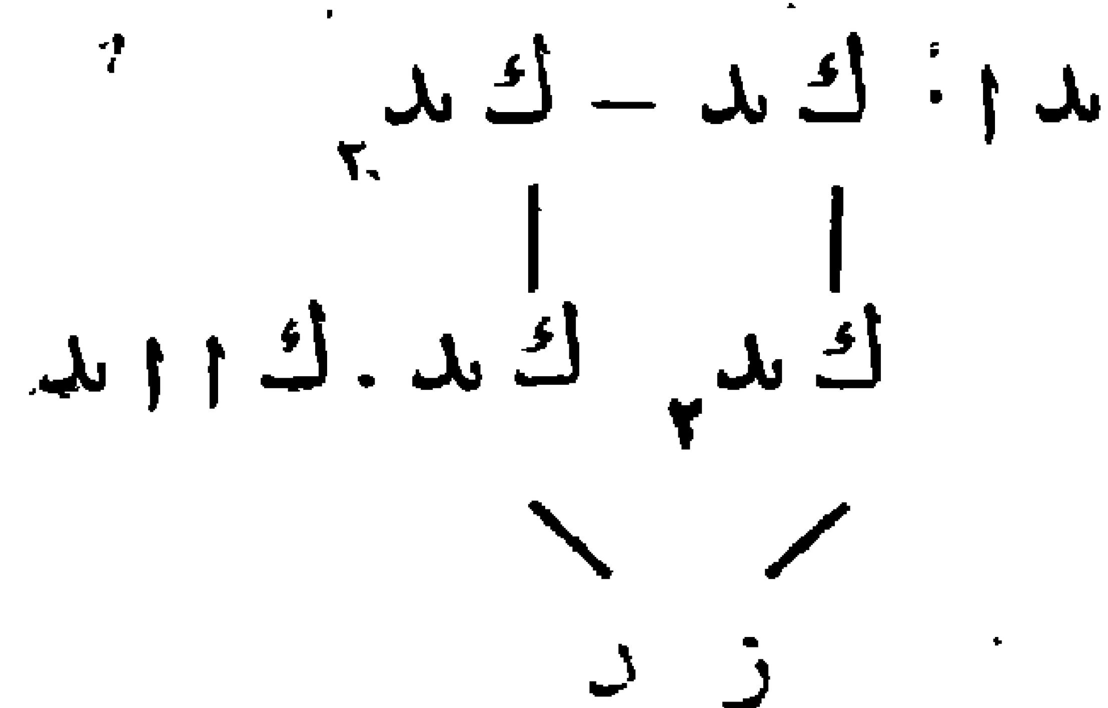
٢١ — سستين Cystine يد ا ا ك . ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك يد$_{٢}$. كب . كب . ك يد$_{٢}$. ك يد (ز يد$_{٢}$) ك ا ا يد – وإذا اختزل يكون جزيئين من سستيين Cysteine يد كب . ك يد$_{٢}$. ك يد (ز يد$_{٢}$) . ك ا ا يد

الاحماض الايمينية (Imino acids)

٢٢ — برولين Proline



٢٣ — هيدروكسيبرولين Hydroxyproline



جـــدول (١)

	البيومين البيض	بروتين عضل الثور	البيومين اللبن	جيلاتين	كازينوجين	جليادين القمح	جلوتينين القمح	زيين الذرة	جلوبين الهيموجلوبين	ادستين
جليسين	٠,٠	٢,١	٠,٠	٢٥,٥	٠,٠	٠,٠	٠,٩	٠,٠	—	٣,٨
الأنين	٢,٢	٣,٧	٢,٥	٨,٧	١,٥	٢,٠	٤,٧	٩,٨	٤,٢	٣,٦
ڤالين	٢,٥	٠,٨	٠,٩	٠,٠	٧,٢	٣,٤	٠,٢	١,٩	—	+
ليوسين	١٠,٧	١١,٧	١٩,٤	٧,١	٩,٤	٦,٦	٦,٠	٢٥,٠	٢٩,٠	٢٠,٩
ايسوليوسين	—	—	—	٠,٠						—
حامض اسبارتيك	٦,٢	٤,٥	١,٠	٣,٤	٤,١	٠,٦	٠,٩	١,٨	٤,٤	١٠,٢
حامض جلوتاميك	١٣,٣	١٥,٥	١٠,١	٥,٨	٢١,٦	٤٣,٧	٢٣,٤	٣١,٣	١,٧	١٩,٢
سيرين	—	—	—	٠,٤	٠,٥	٠,٢	٠,٧	١,٠	٠,٦	٠,٣
حامض هيدروكسيجلوتاميك	—	—	—	٠,٠	١٠,٥	—	—	٢,٥		—
برولين	٣,٥٦	٥,٨	٤,٠	٩,٥	٨,٠	١٣,٢	٤,٢	٩,٠	٢,٣	٤,١
هيدروكسيبرولين	—	—	—	١٤,١	٠,٣	—	—	—	١,٠	٢,٠
فينيل الانين	٥,١٧	٣,٢	٢,٤	١,٤	٣,٢	٢,٤	٢,٠	٧,٦	٤,٢	٣,١
تيروزين	٤,٢	٢,٢	٠,٩	٠,٠١	٤,٥	١,٢	٤,٣	٥,٢	١,٣	٤,٥
تربتوفان	١,٣	+	—	٠,٠	١,٧	١,٠	+	٠,٠	+	٢,٥
ليسين	٥,٠	٧,٦	٩,٢	٥,٩	٦,٠	٠,٢	١,٩	٠,٠	٤,٣	٢,٢
أرجينين	٥,٦	٧,٥	٣,٢	٨,٢	٣,٨	٣,٢	٤,٧	١,٨	٥,٤	١٥,٨
هيستدين	١,٤	١,٨	٢,١	٠,٩	٢,٥	٠,٦	١,٨	٠,٨	١١,٠	٢,١
سستين	٠,٩	—	—	؟	—	٠,٥	٠,٠٢	—	٠,٣	١,٤
أمونيا	١,٣٤	١,١	١,٣	٠,٤	١,٦	٥,٢	٤,٠	٣,٦	—	—
مثيونين	—									٢,١
كابرين	—									—
المجموع	٦٣,٤	٦٧,٥	٥٧,٠	٩١,٣١	٦٨,٤	٨٤,٠	٥٩,٧٢	١٠١,٣	٦٩,٧	٩٧,٨

ويبين جدول (١) نسبة الأحماض الأمينية المختلفة الموجودة فى عدد من البروتينات ويلاحظ أن بعض البروتينات تحتوى على نسب كبيرة من حمض أمينى معين بينما تحتوى على نسب أصغر من أحماض أخرى . فمثلا نجد أن حامض جلوتاميك يكون ١٣,٣ ٪ من زلال البيض و١,٧ ٪ من جلوبين الهيموجلوبين بينما يكون ٤٣,٧ ٪ من جليادين دقيق القمح .

تقسيم البروتينات

يمكن تقسيم البروتينات إلى :

أولا : البروتينات البسيطة (Simple proteins) وبالتحليل المائى تعطى أحماض أمينية

١ — الألبيومينات (albumins) وهى قابلة للذوبان فى الماء النقى وتتجلط بالحرارة وترسب بكبريتات النشادر المشبعة أو بكبريتات الزنك ومن أمثلتها زلال البيض وزلال السيرم .

٢ — الجلوبيولينات (Globulins) وهى لا تذوب فى الماء النقى ، وتحتاج إلى وجود كمية خاصة من الأملاح الغير العضوية لاذابتها ويرسب الجلوبيولين بالتشبع الكامل بكبريتات المغنسيوم أو بكبريتات النشادر النصف المشبعة ومن أمثلة الجلوبيولين جلوبيولين السيرم والفيبرينوجين (Fibrinogen) الموجودان بالبلازما أى السائل الدموى والميوجين (myogen) الموجود بالعضلات .

٣ — البروتامينات (Protamines) وتوجد بالجسم متحدة مع مجاميع أخرى ويمكن الحصول عليها من الحيوانات المنوية الناضجة من بعض الأسماك حيث تكون متحدة مع حامض النواة وتميز باحتواء جزيئاتها على كمية كبيرة جداً من الأحماض ثنائية الأمين التى ترتفع إلى ٨٥ ٪ من المادة كلها وتبعاً لمحتوياتها فانها تملك صفات قاعدية ، وتكوّن املاحاً مع الأحماض القوية كحامض الكلوردريك .

٤ — الهيستونات (Histones) وتشبه البروتامينات فى أنها توجد فقط متحدة مع مواد أخرى مثـل النيوكليين (nuclein) والهيماتين (Haematin) وقد يمكن الحصول عليهـا من كرات الدم الحمراء حيث تدخل فى تركيب الهيموجلوبين ومن الحيوانات المنوية فى الأسماك ويترسب الهستون من محاليله المائية باضافة الأمونيا غير انها تذوب فى زيادة منه وتحتوى على نسبة كبيرة من الأحماض ثنائية الأمين وتشبه فى ذلك البروتامينات .

٥ — البرولامينات (Prolamins)—سميت هذه الفصيلة بهذا الاسم لأنها تحتوى على كمية كبيرة من الحامض الأمينى برولين — ويوجد البرولامين فقط فى النبات ومن أمثلته زين (Zein) الموجود بالذرة وجليادين الموجود بالقمح وهى تذوب فى ٧٠ فى المائة الـكحول وفى القواعد والأحماض الضعيفة ولـكنها لا تذوب فى الماء .

٦ — الجلوتيلينات (Glutelins) ويحصل عليها أيضاً من الحبوب . وتذوب فى القواعد والأحماض الضعيفة .

٧ — السكليروبروتينات (Scleroproteins) وهى غير قابلة للذوبان وتوجد فقط فى الحيوان ومن أمثلتها كيراتين الموجود فى القرون والحوافر والإلاستين الموجود فى أوتار العضلات .

ثانيا : البروتينات المعقدة (conjugated proteins)

١ — البروتينات الفوسفورية (phosphoproteins) وتحتوى على الفوسفور كجزء أساسى منها ولهذه المجموعة من البروتينات خواص حامضية واضحة جداً . وهى غير قابلة للذوبان فى الماء النقى وتذوب بسهولة فى القواعد والنشادر ومن أمثلتها الـكازينوجين (casienogen) وهو البروتين الأساسى فى اللبن والفيتللين (vitellin) وهو البروتين الأساس فى صفار البيض .

٢ — البروتينات النووية (nucleoproteins) وتتركب من اتحاد حامض

عضوى فوسفورى ، وهو الحامض النووى مع البروتين الذى يكون عادة هستونا أو بروتامينا ولا ينفصل فورسفور البروتين النووى بوساطة القواعد بخلاف الفوسفوبروتين التى تطرد القواعد حامض الفوسفوريك منه ويبدو أن اتحاد البروتين مع الحامض النووى يحدث على مرحلتين فعند تعريض البروتين النووى للعصير الهضمى المعدى يذوب جزء كبير من البروتين تاركا جزءاً متبقياً غير قابل للذوبان متحداً مع الحامض . ويسمى المركب الناشىء نيوكليين (nuclein) ومن الأخير يمكن فصل الحامض النووى بالتسخين مع الأحماض المركزة أو بوساطة خميرة التربسين . وتذوب البروتينات النووية فى الماء ومحاليل الأملاح والقواعد المخففة : ولها صفات حامضية ، وترسب باضافة الأحماض . أما النيوكليين فغير قابل للذوبان فى الماء ومحاليل الأملاح ولكنه يذوب بسهولة بوساطة القواعد المخففة . وتكوّن البروتينات النووية وكذا النيوكليين الجزء الأساسى الثابت فى نواة الخلية . ويمكن الحصول على البروتين النووى من الأعضاء التى بهـــا خلايا كثيرة — مثل الثيموس والبنكرياس — ومن كرات الدم الحمراء ذات النواة ومن رؤوس الحيوانات المنوية ومن الخميرة .

٣ — الكروموبروتينات (Chromoproteins) — تتركب هذه المجموعة من مواد ملونة متحدة مع البروتين وأهم مركب فيها هو الهيموجلوبين وهو المادة الحمراء بالدم . وتلعب دوراً هاماً فى عملية التنفس . وتتركب من البروتين — جلوبين — متحداً مع نواة أخرى تحتوى على الحديد وتسمى هيماتين . ويحتوى الهيموجلوبين على ٤ ٪ تقريباً من الهيماتين .

٤ — الجلوكوبروتينات (Glucoproteins) وتحتوى على مجموعة أو أكثر من مائيات الكربون مثل المانوز والجالاكتوز ومن أمثلتها المخاطين الموجود فى اللعاب وفى إفرازات الأغشية المخاطية .

ثالثا — مشتقات البروتينات ونواتج التحليل المائى للبروتين :

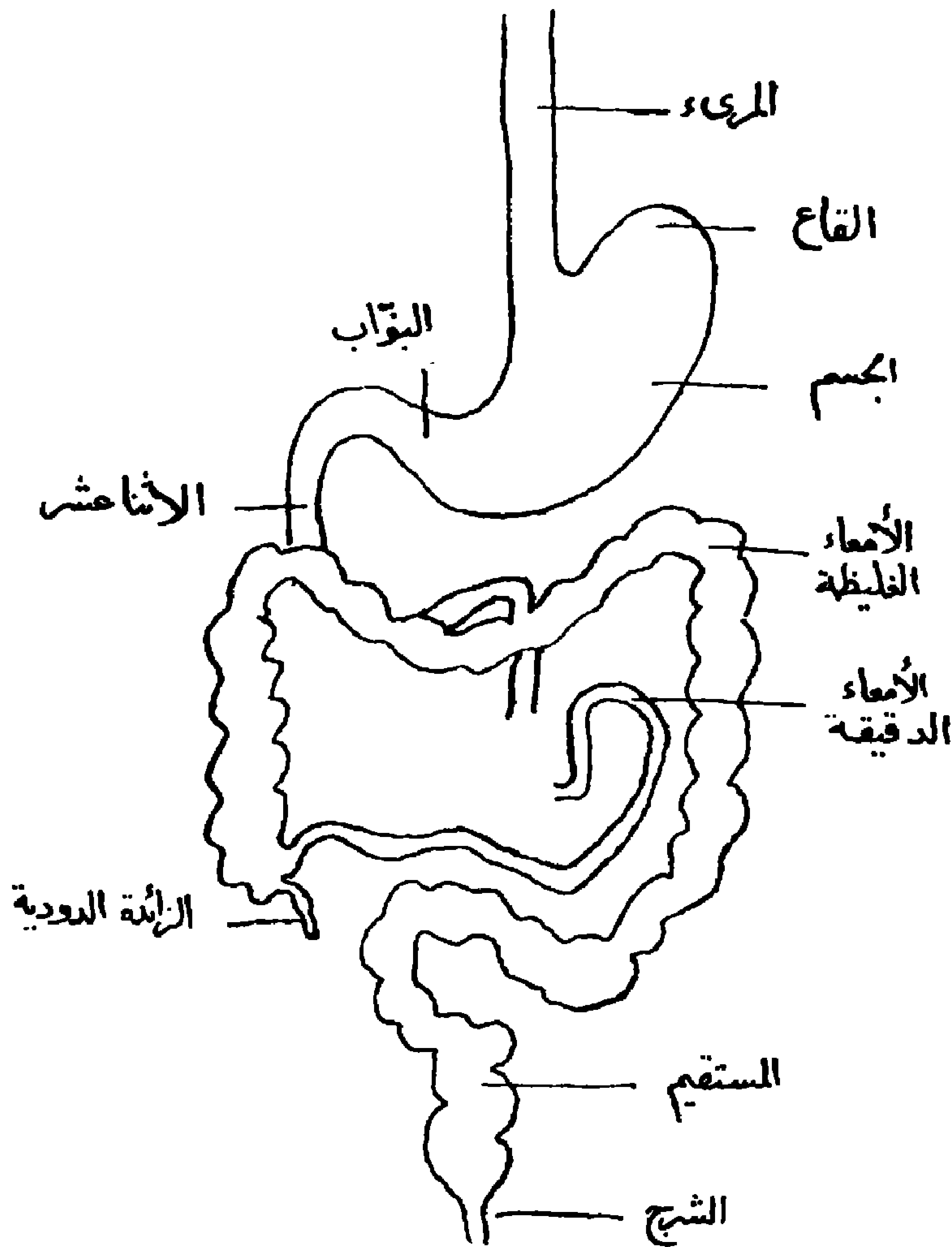
تتحلل البروتينات بغليانها مع الأحماض أو بفعل خمائر خاصة إلى الأحماض الأمينية . وتتم هذه التغييرات التحليلية فى سلسلة من المراحل حتى أن النواتج المتوسطة تعطى تفاعلات كثيرة للبروتينات . وتنقسم هذه البروتينات المشتقة إلى ثلاث مجاميع : الميتابروتينات والبروتيوزات والببتونات . ويظهر جداً تكوين هذه المركبات المتوسطة بفعل الانزيمات . فمثلا وجد أن الپپسين مع حامض الكلوردريك لا يكسر جزىء البروتين إلا البروتيوز والببتون فقط ولكنه لا يعطى أحماضاً أمينية أما التربسين فيحلل البروتين إلى البروتيوز والببتون وأحماض أمينية وفى كلتا الحالتين تفصل الرابطة الپپتيدية حيث أن أعدادا متساوية من المجموعتين ز يد$_{٢}$ و ك ا ا يد تصبح مطلقه.

وتعطى الپبتونات والبروتيوزات كل تفاعلات البروتينات العامة ؛ وتترسب مثلها بجواهر كشافه مثل كلورور الزئبق أو حامض الفوسفوتنجستيك وهى غير قابلة للتجلط ويترسب عدد كبير منها بوساطة الكحول .

الباب الرابع

الهضم

نستمد الوقود الضرورى للطاقات المختلفة التى تكون الحياة ، كحركة القلب والتنفس وحفظ حرارة الجسم وعمل أى مجهود كالسير أو صعود



(شكل ١٥)

الدرج أو رفع الأثقال ، من أكسدة المواد الغذائية التى تكون الطعام . فاذا منع الانسان عن الطعام ظل قادراً على صرف هذه الطاقات . ولكن ينقص

وزنه إذ يستعمل المركبات العضوية التى تكون بروتوپلازم الجسم بدلا من الطعام . ولذلك نرى أنه لا يمكن للحيوان الامتناع عن الطعام لمدة غير محدودة ذلك لأنه يستعيض بالطعام عما يستهلكه الجسم من البروتوپلازم فى التفاعلات الكيميائية والطبيعية التى تحدث به والتى تكون الحياة . ولما كانت المواد العضوية الموجودة بالطعام تتركب غالباً من جزيئات كبيرة لا يمكن أن تمر من الأغشية المحيطة بالقناة الهضمية وجب تحويلها أولا إلى جزيئات أصغر منها — وتسمى هذه العملية بالهضم . وبذلك يحول جزىء البروتين مثلا إلى مئات من جزيئات الأحماض الأمينية التى تمر بسهولة من جدار القناة الهضمية ، ويبين (شكل ١٥) أقسام القناة الهضمية .

إذا أردنا أن نجرى هذا التحويل خارج الجسم وجب علينا أن نعالج البروتين بأحماض أوقواعد قوية فى درجة حرارة الغليان مدة طويلة ، نتساءل الآن : كيف تتمكن القناة الهضمية من تحويل الأغذية فى مدة لا تزيد عن ساعتين أو ثلاث ساعات ، وفى درجة حرارة الجسم الطبيعية (٣٧ — ٣٨° مئوية) ؟ والجواب على ذلك هو أن بالقناة الهضمية مواد كيميائية عضوية تسمى بالخمائر (Enzymes) تفرزها الغدد المختلفة المحيطة بالقناة .

الخمـــــائر (Enzymes)

لفهم طريقة عمل الخمائر يجب علينا أن ندرس شيئاً عن مواد أخرى غير عضوية تقوم بنفس عمل الخمائر فى التفاعلات الكيميائية . فمثلا لو تركنا محلولا من فوق أكسيد الايدروجين وجدنا أنه يتغير ببطء عظيم إلى ماء وأوكسيجين . فاذا وضعنا بالمحلول قليلا من البلاتين الاسفنجى ازدادت سرعة هذا التغيير كثيراً وصعدت فقاقيع من الأوكسيچين من المحلول . ووظيفة عمل البلاتين فى هذه الحالة هو تغيير سرعة التفاعل من حيث أنه لا يدخل فى تركيب

المحاصيل النهائية ؛ ويمكن استخراجه كما كان بحالته الأولى عند نهاية التفاعل وعليه فان كمية قليلة جداً من البلاتين يمكنها أن تغير كميات عظيمة من فوق أكسيد الايدروجين ؛ وكل ما نحصل عليه كلما زدنا كمية البلاتين هو زيادة السرعة التي يحصل بها تغيير فوق أكسيد الايدروجين إلى ماء وأوكسيجين ، ويسمى البلاتين فى هذه الحالة بالعامل المساعد ؛ ويمكن زيادة سرعة معظم التفاعلات الكيميائية باضافة مواد خاصة تقوم مقام البلاتين فى المثل السابق.

ومع أن عمل الخمائر العضوية يختلف من وجوه كثيرة عن عمل العوامل المساعدة الغير العضوية إلا أن نتيجة وجودهما واحدة فى الحالتين ، وهى زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية . فمثلا إذا وضع محلول فوق أكسيد الايدروجين على أحد الأغشية المخاطية صعدت فقاقيع الأوكسيجين بسرعة. والسبب فى هذه الحالة هو وجود الخميرة المسماة كاتاليز (Catalase) فى أنسجة الجسم ، وهى تقوم مقام البلاتين الاسفنجى فى تغيير فوق أكسيد الايدروجين إلى ماء وأوكسيجين.

ويمكن تعريف الخمائر بأنها مواد عضوية لها نفس العمل الذى تقوم به العوامل المساعدة الغير العضوية من حيث زيادة سرعة تفاعلات كيميائية نوعية . وتصنع الخمائر بوساطة الخلايا الحية ولكنها مستقلة عنها فى عملها. ومن خصائص الخمائر ما يأتى :

أولا — خواص تشابه خواص العوامل المساعدة الغير العضوية :

١ — يتحلل محلول سكر القصب ببطء شديد إلى سكر العنب وسكر الفواكه فى درجة حرارة الغليان . وعليه يمكننا أن نستنتج أن هذا التحليل يجرى فى درجة حرارة الجسم ولكن ببطء شديد . فاذا أضيفت إلى المحلول الخميرة سكريز (Sucrase) زادت سرعة التحليل بدرجة كبيرة .

ومن جهة أخرى إذا عقم محلول من النشاء بقى بلا تغيير لمدة طويلة ، وباضافة قليل من الأميليز تحلل بسرعة إلى ملتوز وبذلك . قد يدل هذا

المثل على أن وجود الخميرة لا يسرع التحليل فقط بل يبدؤه أيضا ؛ ولو أنه لا يثبت ذلك قطعياً . هناك كذلك رأى جديد بأن العوامل المساعدة الغير عضوية قد تبدأ تفاعلات كيميائية .

٢ — يؤثر وجود الخميرة فى كميات كبيرة جداً من المواد المتفاعلة كما هى الحال فى العوامل المساعدة . فمثلا قد وجد أن الخميرة سكريز (Sucrase) تحول على الأقل مائتى ألف ضعف وزنها من محلول سكر القصب إلى سكر العنب وسكر الفواكه ، هذا فضلا عن اعتبار عدم تمام نقاوة الخمائر المحضرة .

٣ — يمكن لبعض الخمائر أن تجرى التفاعل الكيميائى فى اتجاه وعكسه (reversibility of reaction) . فمثلا تسرع الخميرة ليبيز (Lipase) التحليل المائى لبيوتيرات الإيثيل (Ethyl butyrate) إلى حامض بيوتيريك (butyric) وكحول ، وكذلك يمكنها أن تسرع تكوين بيوتيرات الايثيل من حامض البيوتيريك والكحول . وتتوقف الجهة التى يحدث فيها التفاعل على الكميات الموجودة من المواد المتفاعلة . فمثلاعند ما تضاف الخميرة ليبيز إلى بيوتيرات الايثيل يتحلل إلى مركبيه ؛ وفى الوقت نفسه يجرى اتحاد المركبين ثانية إلى بيوتيرات الايثيل ، غير أن سرعة التحليل تكون أولا أكثر من سرعة الاتحاد ثم تقل سرعة التحليل تدريجيا نظرا لقلة كميات بيوتيرات الايثيل الموجودة . بينما تزداد سرعة الاتحاد نظرا لزيادة كميتى حامض البيوتيريك والكحول ويستمر ذلك حتى نصل إلى توازن فى التفاعل حيث تصبح كميات بيوتيرات الايثيل المحللة مساوية لكمية المركبات المتكونة فى نفس الوقت .

وغالباً ما يتم عمل الخميرة فى الحيوان فى اتجاه واحد حتى النهاية ، وذلك لابعاد نتائج التحليل عن دائرة التفاعل بطرق شتى ،كامتصاصها فى الدم كما هو الحال فى حالة عمل الخمائر الموجودة فى القناة الهضمية .

٤ — كلما زادت كمية الخميرة زادت سرعة التفاعلات الكيميائية ؛ ولكن لا تؤثر كمية الخميرة فى توازن التفاعل (Equilibrium of reaction).

ثانيا — خواص تختلف عن خواص العوامل المساعدة الغير العضوية :

١ — تأثير الحرارة : تتلف معظم الخمائر نهائياً إذا رفعت درجة حرارتها بين ٧٠° و ١٠٠° مئوية . وليس لتبريد محاليلها إلى درجة التجمد تأثير دائم عليها ولو أن سرعة عملها تقل . هذا بخلاف الخمائر الموجودة فى الحيوانات ذات الدم البارد فلها مقدرة كبيرة على العمل فى درجات الحرارة المنخفضة . وللخمائر — بخلاف العوامل المساعدة الغير العضوية — درجة حرارة معينة عندها يكون للخمائر أقوى مقدرة على إسراع التفاعل ، وتسمى درجة الحرارة المثلى (optimum temperative) ، وتتراوح بين ٣٥ — ٤٥° والسبب فى ذلك عاملان متضادان : أولهما أزدياد سرعة التفاعل بارتفاع درجة الحرارة ؛ والثانى هو إتلاف الخميرة بواسطة ارتفاع درجة الحرارة وهذا الأتلاف يبدأ فى درجات حرارة منخفضة نوعا ما ويزداد بسرعة مع زيادة الحرارة ، وبذا تصبح أحسن درجة حرارة لعمل الخميرة هى تلك التى يزداد فيها العامل الأول على العامل الثانى كثيراً .

٢ — تأثير درجة تركيز الايدروچين : تحتاج معظم الخمائر إلى درجة معينة من الحموضة أو القاعدية قبل أن تتمكن من أن تؤدى عملها على أحسن وجه . فمثلا تحتاج خميرة . ببسين إلى وسط حمضى يعادل ٠٫٢ ٪ حامض الكلوردريك . فاذا كان الوسط متعادلا فقدت الخميرة مقدرتها على العمل .

٣ — التأثير النوعى للخمائر : للخمائر مقدرة كبيرة على اختيار المواد الى تؤثر فيها ، أى أن لكل خميرة فصيلة معينة من المواد يمكنها أن تؤثر فيها دون غيرها . فمثلا وجد أن الخميرة التى تحلل الدهن لا تؤثر بتاتاً فى مائيات الكربون . مع أن كلا من الدهن ومائيات الكربون يمكن تحليلها باستعمال

الأحماض المخففة . وقد يصل تخصص الخمائر إلى أبعد من ذلك فمثلا الخميرة سكريز الموجودة بالعصير المعوى تحلل سكر القصب إلى جزىء من سكر العنب وآخر من سكر الفواكه ، فى حين لايمكنها التأثير فى سكر الشعير (maltose) أو سكر اللبن (Lactose) مع أن لسكر القصب وسكر الشعير وسكر اللبن نفس الرمز التكوينى الكيميائى وهو ك١٢ يد٢٢ أ١١ . وبالمثل تؤثر خميرة مالتيز (Maltase) فى سكر الشعير فقط ، وخميرة لاكتيز (Lactase) فى سكر اللبن فقط .

٤ — مساعدات الخمائر (Co-Enzymes) : تحتاج معظم الخمائر — أو الخمائر كلها إلى وجود مواد أخرى عضوية وغير عضوية ليمكنها أن تؤدى عملها على الوجه الأكمل . وفى كثير من الأحوال تكون وظيفة المساعد غير معروفة تماما ، وكل ما يعرف عنه أن وجوده أساس لعمل الخميرة . فمثلا يحتاج أميليز البنكرياس أو اللعاب إلى وجود كميات ضئيلة جداً من أيونات الكلورين . فاذا وضعنا عصير البنكرياس فى مفرق ككيس غروى (Collodion Sac) أو غشاء حيوانى نفذت منه الأيونات والجزئيات الصغيرة مثل كلورور الصوديوم ، وبقى به الجزئيات الكبيرة كجزىء الخميرة . وبهذه الطريقة يمكن فصل الأميليز من كل أيونات الكلورين . وعند ذلك تفقد الخميرة عملها إلا إذا أضيف اليها قليل من كلورور الصوديوم الذى يكسبها المقدرة على العمل مرة أخرى ويمكن اعتبار تأثير أيونات الايدروجين السابق ذكره ضمن مساعدات الخمائر. هذا ويمكن فى بعض الأحوال تفسير كيفية عمل مساعد الخميرة فمثلا تساعد أملاح الصفراء خميرة ليبيز البنكرياس بأنها تقلل الجذب السطحى للدهن . وبذلك تفرقه أو تجزئه إلى فقاقيع تكون منه مستحلباً فى الوسط القاعدى فيزيد سطح الدهن المعرض لعمل الخميرة .

تحضير خمائر نقية : قد أمكن تحضير خمائر على شكل بلورات . وقد أعيد التبلور لم يحدث أى نقص فى قوة معقولها بل زادت فى بعض الأحيان .

ومن الخمائر التى أمكن تبلورها الخميرة يوريز (urease) التى تحلل البولينا إلى نشادر وثانى أكسيد الكربون ، وكذلك أمكن تبلور الخمائر ببسين وتربسين وأميليز البنكرياس .

وقد دل تحضير الخمائر فى حالة بلورية أونقية جداً على فصائلها الكيمياوية فمثلا خميرة البيسين (pepsin) عبارة عن البيومين (albumin) وخميرة يوريز وليبيز عبارة عن جلوبيولين (globulin) . وأميليز البنكرياس بروتين نوعه غير معروف بالضبط . ورينين (Rennin) عبارة عن ثيوبروتيوز (Thioproteose)

مولدات الخمائر (Zymogen) . كثيراً ماتوجد الخميرة فى الخلايا التى تفرزها بحالة غير فعالة . فمثلا تفرز خلايا البنكرياس خميرة التربسين على شكل غير فعال لا يمكنه أن يؤثر فى البروتين ويسمى مولد التربسين (Trypsinogen) . وتحتاج الزيموجينات — أى مولدات الخمائر — إلى معاملة خاصة حتى تصبح فعالة ، فيتحول مثلا مولد التربسين إلى التربسين الفعال بوساطة إنتروكينيز (Enterokniase) العصير المعوى أو بوساطة أيونات الكالسيوم .

كيفية عمل الخمائر : ربما تتبع الخمائر فى عملها إحدى طريقتين : إما طريق الادمصاص (adsorption) ، وإما تكوين مركب كيميائى متوسط خلال التفاعل . وحتى عند إعتبار الطريقة الأولى فالمعتقد . هو أن الادمصاص يتخلله تفاعلات كيميائية وطبيعية . أى أنه فى الغالب تعمل الخمائر بوساطة طرق كيميائية وطبيعية . ولما كانت الخمائر مواد جزيئاتها كبيرة أصبح لها خواص المواد ذات الادمصاص . ومما لاشك فيه أن للخمائر دخلا فى التفاعل الكيميائى ، ويبدو كأنها تتحد مع المواد التى تؤثر فيها اتحاداً كيميائيا مكونة مركبا غير ثابت يتكسر إلى أحد نواتج تحليل المادة المؤثر فيها وإلى مركب آخر مكون من الخميرة وناتج ثان لهذا التحليل .

وهذا يتكسر بعد ذلك إلى الخميرة والناتج الثانى ببعض الصعوبة .

ولما كانت الخميرة المتحدة تصبح غير فعالة أمكن تعليل الفقد الظاهرى للخمائر خلال التفاعل بوساطة هذه النظرية .

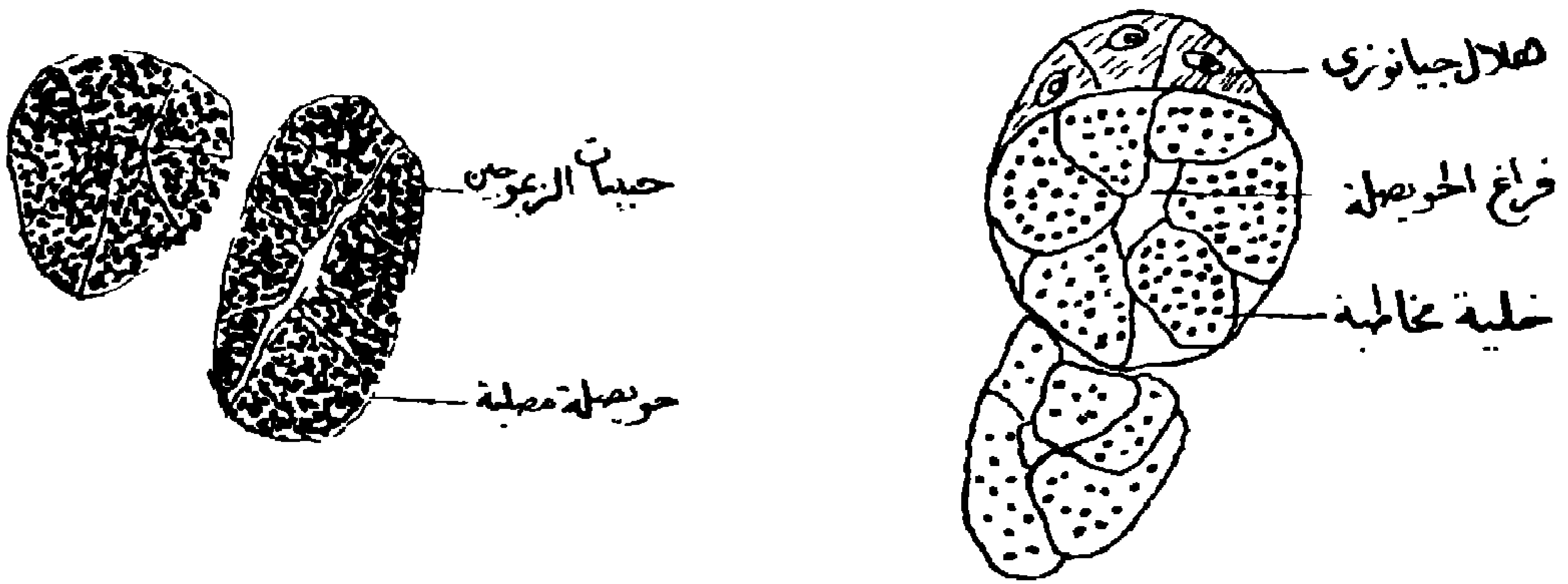
لنفرض أن الخميرة خ تؤثر فى المادة ا ب فيمكن تمثيل خطوات هذه النظريه كالآتى :



مضادات الخمائر (Anti-Enzymes) : تتكون جدران المعدة والأمعاء من مواد بروتينية ؛ ومع ذلك لا تؤثر فيها الخمائر التى تهضم البروتين الموجودة بها . وكذلك توجد ديدان طفيلية كثيرة بالقناة الهضمية تعيش وسط هذه الخمائر . والمظنون أن بجدار القناة الهضمية وبأنسجة هذه الديدان الطفيلية مواد لها خواص تمنع عمل الخميرة ، وتسمى هذه المواد بمضادات الخمائر — ولو أن ذلك ليس مؤكدا .

الهضم فى الفم

يمتزج الطعام فى الفم باللعاب . وهو مزيج من افراز ثلاثة أزواج من الغدد اللعابية ، وهى الغــــدد تحت الفك (Submaxillary) وتحت اللسان (Sublingual) والغدة النكفية (Parotid) ويوجد بالغشاء المخاطى للفم عدد كبير من الغدد المخاطية الصغيرة . وتتركب الغدد اللعابية من عيون (Alveoli) مكونة من خلايا على شكل الوتد تفتح فى قناة مركزية (شكل ١٦) . وهناك نوعان



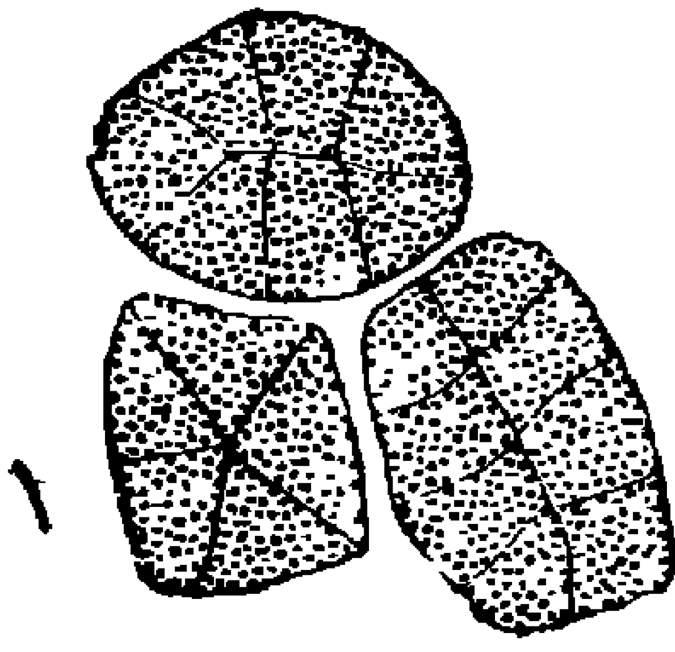
(شكل ١٦)

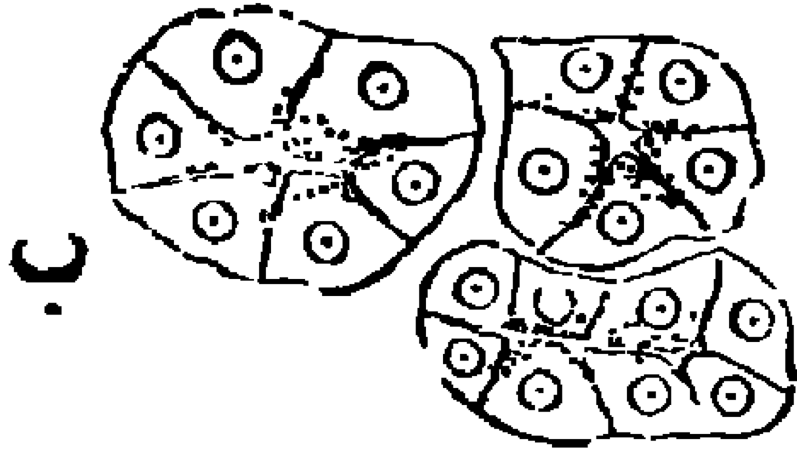
من العيون : عيون مصلية (Serous) ، وعيون مخاطية (mucous) . وتتكون العيون المصلية من خلايا بها حبوب صغيرة كثيرة قد تخفى النواة . وتولد هذه الحبوب الأميليز اللعابى ، وإفراز هذه العيون مائى . وأما العيون المخاطية فتتكون من خلايا بها حبوب كبيرة ؛ وتولد هذه الحبوب المخاطين . وإذا أفرزت الغدد قلت الحبوب فى الخلايا وبقيت بقرب القناة المتوسطة فقط . ويبين شكل ١٧ تأثير الافراز فى كمية الحبوب الموجودة بالخلايا . وقد يوجد بطرف العيون المخاطية بعض الخلايا المصلية مرتبة على شكل هلالى .

وتسمى أهلة جيانوزى (Crescents of Gianuzzi) وتتكون الغدة النكفية فى الانسان من عيون مصلية . ويوجد النوعان من العيون فى الغدة تحت الفك والغدة تحت اللسان ، ولكن معظم عيون الأخيرة من النوع المخاطى .

أعصاب الغدد اللعابية

يؤثر فى أعضاء الجسم الداخلية — كحركات وإفرازات القناة الهضمية والغدد الهضمية والقلب وغير ذلك من الأفعال الغير الارادية — ألياف عصبية من الجهاز العصبى الغير الارادى ولا تمر الأعصاب الغير الارادية التى تؤثر فى الأعضاء الداخلية مباشرة إلى الأعضاء التى تؤثر فيها بل تنتهى فى إحدى العقد العصبية الموجودة خارج المخ والنخاع الشوكى ، ثم تحمل الاشارات العصبية بوساطة خلية عصبية أخرى تخرج أليافها من هذه العقد أى أن كل ليف عصبية غير إرادية لها محطة عصبية قبل أن تصل إلى الخلايا التى تهيمن عليها (أنظر باب الجهاز العصبي الغير الأرادى بالجزء الثالث) .





(شكل ١٧) عن ستارلنج
ا قبل الافراز ب بعد الافراز

وتجهز الغدد اللعابية بألياف عصبية باراسمباثوية (Parasympathetic) وألياف سمبـــاثويه (sympathetic) وتخرج الألياف الباراسمباثوية للغدتين تحت الفك وتحت اللســـان من المركز اللعابى الأعلى (superior salivatory nucleus) الموجود فى النخاع المستطيل بقرب نواة العصب الوجهى (facial) . وتخرج هذه الألياف من المخ مع العصب السابع ثم تتركه مكونة عصب الحبـل الطبلى (chorda tympani) الذى يتحد قرب الغدتين تحت الفك وتحت اللسان ثم تخرج الألياف إلى الفم مع العصب ،

اللسانى . وتوجد محطة الألياف التى تؤثر فى الغدة تحت اللسان فى العقدة التى تسمى خطا بالعقدة تحت الفك (Submaxillary) . وأما محطة الألياف التى تذهب إلى الغـــدة تحت الفك فتوجد فى سرة الغدة نفسها .

والألياف العصبية الباراسمباثوية التى تؤثر فى الغدة النكفية تبتدىء من المركز اللعابى الأسفل (Inferior-Salivatory Nucleus) . فى النخاع المستطيل ، وتخرج من المخ مع عصب اللسان البلعومى (Glossopharyngeal) ؛ وتوجد محطتها فى العقدة العصبية الأذنية (Otic Ganglion) .

أما الأعصاب السمباثوية للغدد اللعابية فتخرج من القطعتين الأولى والثانية من الجزء الصدرى للنخاع الشوكى ؛ وتوجد محطتها فى العقدة السمباثوية العنقية العليا (Superior Cervical Sympathetic Ganglion) .

تأثير تنبيه الأعصاب اللعابية

إذا نبه عصب الحبل الطبلى أو عصب اللسان البلعومى فى حيوان أفرزت الغدتان تحت الفك وتحت اللسان فى الحالة الأولى أو الغدة النكفية فى الحالة الثانية إفرازاً مائياً كثيراً به قليل من الأجسام الصلبة ، وفى الوقت نفسه تتسع شرايين هذه الغدد كثيراً فيزيد مرور الدم بها . وقد تكون كمية الدم التى تمر بالغدة بعد التنبيه عشرة أضعاف الكمية التى تمر وقت راحة الغدة . وعلى ذلك قد يخرج الدم من الغدة فى الوريد دون أن يفقد كثيراً مما به من الأوكسيجين ، فيكون لونه أحمر قانئاً ، وقد ينبض الدم الوريدى . وكان هناك نظريتان لشرح كيفية الإفراز : فالنظرية الأولى كانت تقرر أن الإفراز ينشأ أو يتسبب من زيادة مرور الدم فى الغدة وزيادة الرشح من الشعريات الدموية وأما النظرية الثانية فتقرر أن الافراز قوة حيوية تقوم بها الخلايا اللعابية ولا تسبب من الرشح الناشىء من كثرة الدم الذى يمر بالغدة ، وهناك أدلة كثيرة على أن النظرية الثانية هى الصحيحة ، ونقدم منها ما يأتى :

أولا — تزيد كمية الأوكسيچين التى تستعملها الغدة وقت الافراز كثيراً مما يدل على أن الخلايا تؤكسد مواد غذائية لتحصل على الطاقة اللازمة لعملية إفراز اللعاب من الدم .

ثانياً — أدخل لودفيج (Ludwig) قسطرة رفيعة فى قناة الغدة تحت الفك ، ووصل هذه القسطرة بمانومتر لقياس ضغط الإفراز ، ووجد أنه عند تنبيه عصب الحبل الطبلى يعلو الضغط فى قناة الغدة ويزيد عن ضغط الدم فى الشرايين فى الحيوان نفسه ؛ وهذا يثبت أن قوة الإفراز أعلى من القوة التى يمكن أن تنشأ من ضغط الدم الشريانى — ولذلك لا يمكن أن تكون مسببة منها .

ثالثاً — إذا حقنا محلولا من الآتروبين فى الغدة ونبه عصب الحبل الطبلى لا تفرز الغدة إذ أن مادة الآتروبين تشلّ نهايات الألياف المفرزة الباراسمباثوية ، ولكن تبقى زيادة مرور الدم فى الغدة بعد الآتروبين ، وعلى ذلك يستنتج أن زيادة مرور الدم وحدها لا تسبب الإفراز .

رابعاً — وجد أنه عند تنبيه عصب الحبل الطبلى يقل حجم الغدة أولا ثم يزداد بعد ذلك ، وسبب قلة الحجم هو خروج الافراز من الغدة ؛ وسبب الزيادة التى تتلو ذلك هو اتساع الشرايين والشعريات الموجودة بالغدة . ويفسر ذلك بأن الافراز يسبق زيادة مرور الدم — وعلى ذلك لا يمكن أن يكون مسبباً منه .

وإذا نبهت الأعصاب السمباثوية أفرزت الغدتان تحت الفك وتحت اللسان إفرازاً قليلا جداً — نقطة أو نقطتين — ولكنه سميك للغاية ، وبه كثير من المواد الصلبة والمخاطية . وأما الغدة النكفية فلا تفرز شيئاً عند تنبيه الأعصاب السمباثوية ولكن تختفى من الخلايا الحبوب الموجودة فى البروتوبلازم مما يدل على أن التنبيه لم يكن بلا نتيجة . هذا وعند تنبيه الأعصاب السمباثوية تنقبض الشرايين فيقل الدم الذى يمر بالغدد .

كيفية إفراز اللعاب

أمكن دراسة إفراز اللعاب فى الحيوانات بسهولة بتغيير مجرى قناة الغدة النكفية وجعلها تفتح خارج الفم عند الخد، وجمع اللعاب الذى يفرز بالغدة فى الظروف المختلفة. وقد وجد أن الغدد اللعابية لا تفرز باستمرار ولكن يحدث الافراز نتيجة لفعل شرطي أو لفعل منعكس. فالفعل الشرطى هو الذى يعتمد فى حدوثه على القشرة السنجابيـة للمخ (Cerebral Cortex) والذى يحدث بعد تمرين الحيوان أو الانسان عليـه ؛ وأما الفعل المنعكس فلا يعتمد على المخ بأى حال من الأحوال ولكنه يعتمد على المراكز العصبية الموجودة فى النخاع المستطيل. ومن أمثلة الافراز الشرطى الافراز الذى ينتج من رؤية الطعام أو من شم رائحته أو من ضرب جرس يدل على ميعاد الأكل دون تناوله. ولا يحدث ذلك إلا بعد التمرين. فمثلا إذا دق جرس مخصوص ثم أعطى كلب طعاما، وكررت هذه العملية عدة مرات بالترتيب نفسه — أى يدق الجرس ثم يعطى الكلب الطعام — نجد أن بعد تكرارها يسبب دق الجرس وحده، دون إعطاء الطعام، إفرازاً كثيراً من اللعاب.

وأما الفعل المنعكس فينشأ عن وجود الطعام أو أى مواد أخرى بالفم ويكفى تحريك اللسان بالفم لحدوث الافراز. وينبه الطعام نهايات أعصاب حساسة موجودة بالفم منها أعضاء الذوق الحساسة. وتمر الاشارات العصبية التى تحمل حساسة الذوق فى عصب الحبل الطبلى من الثلثين الأماميين للسان وفى عصب اللسان البلعومى من الثلث الخلفى. وأما الاشارات التى تتولد من تنبيه الفم الميكانيكى فتمر فى العصب اللسانى وتذهب هذه الاشارات إلى المراكز العصبيـة الموجودة فى النخاع المستطيل ومنها تمر اشـارات فى الأعصاب الباراسمباثوية المفرزة. وقد وجد بافلوف (Pavlov) أن كمية الافراز ونوعه يتوقفان كثيراً على نوع المؤثر الذى أدى إلى الافراز. فمثلا

إذا وضعت حصاة كبيرة فى فم الكلب بصقها ولم تؤد إلى أى افراز ؛ وأما إذا طحنت هذه الحصاة ثم أدخلت فى الفم على شكل مسحوق أدت إلى إفراز مائى كثير ينظف الفم من المسحوق . وإذا أعطى الكلب لحما فانه يبلعه بسرعة دون مضغه وكل مايلزمه هو أن يكسبه لزوجة لتسهيل عملية البلع . وقد وجد أن الافراز الذى ينتج من أكل اللحم قليل ولكن به كثير من المخاطين . وأما إذا جفف اللحم وأعطى على شكل مسحوق أو إذا أعطى الحيوان كعكا جافا ،كان إفراز اللعاب كثيراً ومائياً وبه قليل من المخاطين . وإذا وضع بالفم حمض أدى إلى إفراز مائى كثير به كمية من البروتين . فيخفف الماء الحمض ويعادل البروتين بعضا منه — وبذا يقل تأثيره فى الغشاء المخاطى .

التركيب الكيميائى للعاب

يفرز الانسان من ١٢٠٠ — ١٥٠٠ سم٣ من اللعاب يومياً ؛ واللعاب سائل لا لون له . معتم ولزج . وكثافته من ١٠٠٢ — ١٠٠٨ ؛ وتفاعله يميل قليلا إلى الحموضة ؛ الأس الادروچينى (P.H.) (من ٦٫٣٥ إلى ٦٫٨٥) ولا سيما إذا جمع اللعاب دون أن يعرض للهواء حتى لا يفقد ما به من ثانى أكسيد الكربون ويصير قاعدياً ويحتوى اللعاب على ٩٩٫٥ ٪ ماء و٠٫٥ ٪ مواد صلبة تنقسم إلى : —

أولا — أملاح غير عضوية :

كلورور الصوديوم والبوتاسيوم ؛ وهى تساعد عمل الخميرة أميليز اللعاب . إذ لو فصلنا أميليز اللعاب من هذه الأملاح بوساطة مفرق غروى لفقدت الخميرة قدرتها على هضم النشاء ، ولا يمكن أن تستردها إلا إذا أضيف قليل من هذه الأملاح إليها .

بيكربونات الصوديوم وأول وثانى فوسفات الصوديوم وبيكربونات

الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم ؛ وهي مواد حافظة لتفاعل اللعاب (Buffers) . وإذا خرج من اللعاب ثانى أكسيد الكربون للجو وصار تفاعل اللعاب قاعدياً رسبت كربونات وفوسفات الكالسيوم وكونت طبقة من الجير بين اللثة والأسنان تنمو تحتها الجراثيم إذا أهمل تنظيف الفم وينشا عن ذلك تقيح اللثة .

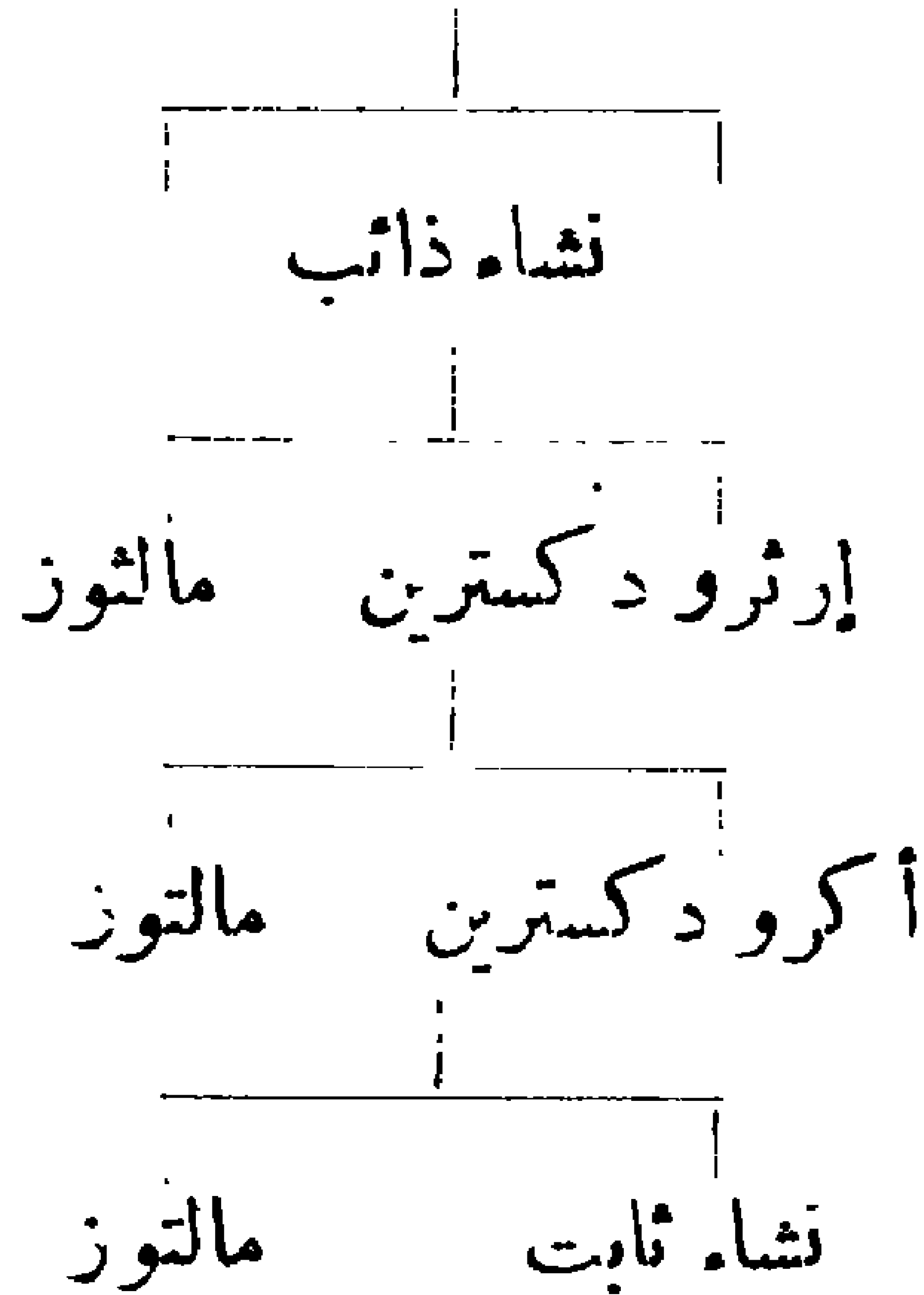
كبريتوسيانات البوتاسيوم ؛ وتتكون فى الجسم من السيانورات التى تنشا من التمثيل الغذائى للبروتين ، وبهذا التكوين يقل ضررها .

ثانيا — مواد عضوية :

خميرة تيالين (Ptyalin) أو أميليز اللعاب وخميرة مالتيز ومخاطين والبيومين وجلوبيولين السيرم وبولينا .

وظائف اللعاب

اولا — تهضم الخميرة أميليز النشاء المطبوخ وتحلله مائياً إلى نشاء يذوب فى الماء . ثم إلى نشاء يعطى لوناً أحمر مع اليود (Erythrodextrin) ومالتوز ثم إلى نشاء لا يعطى لوناً مع اليود (Achroodesctrin) ومالتوز ، ثم إلى نشاء ثابت لا يتأثر بأميليز اللعاب ومالتوز . ويكون النشاء الثابت نحو ٢٠ ٪ من النشاء الأصلى . وقد يتكون بعض سكر العنب من المالتوز بوساطة الخميرة ملتيز الموجودة باللعاب . ويمكن شرح عمل الخميرة بالجدول الآتى :



ثانياً — يعطى اللعاب الطعام اللزوجة اللازمة لعملية البلع

ثالثاً — لا يمكن للمواد الصلبة التى قد تؤخذ فى الطعام أن تؤثر فى أعضاء الذوق الحساسة إلا إذا أذيبت فى اللعاب .

رابعاً — ينظف اللعاب الفم من بقايا الطعام ومن الخلايا السطحية التى تنفصل من الغشاء المخاطى . وبذا يمنع نمو الجراثيم فى الفم . ففى الحميات يقل إفراز اللعاب فتتراكم فضلات الطعام والخلايا المنفصلة وتكون غشاء أبيض على اللسان وفى الفم يتعفن وتنمو به الجراثيم ويسبب رائحة كريهة .

خامساً — يرطب الفم ويسهل عملية الكلام . وكثيراً ما يستعيض عنه الخطباء الذين يقل إفراز اللعاب عندهم بتناول قليل من الماء .

سادساً — يخرج الجسم فى اللعاب بعض المواد — كالزئبق واليود والرصاص — إذا أخذت للعلاج مثلا . وقد تفرز هذه المواد بكميات كبيرة بحيث تسبب التهابا بالفم ؛ وقد يتكون من الرصاص كبريتور الرصاص الذى يلون ما بين اللثة والأسنان بخط أزرق — وفى هذه الحالة ينشأ الكبريت من المواد العضوية البروتنية الموجودة بالفم . وكذلك تفرز باللعاب بعض

المواد العضوية ، وتزداد كمية البولينا به عند التهاب الكلى ، وكمية سكر العنب فى مرض البول السكرى ، هذا وتفرز بعض الجراثيم — كمكروب داء الكلب ومكروب مرض شلل الأطفال — فى اللعاب وعليه قد تسبب نقل العدوى من إنسان إلى آخر بوساطته .

سابعاً — تنظيم كمية الماء بالجسم : إذا قلت كمية الماء بالجسم نتيجة لكثرة العرق أو الاسهال أو إفراز البول ، قل إفراز اللعاب ، وجف الحلق ، وتنبهت نهايات الأعصاب الحساسة التى به فترسل إشارات إلى المخ تدعو إلى الاحساس بالظمأ ، فيتناول الانسان الماء اللازم لارجاع كميته بالدم والأنسجة إلى الحالة الطبيعية .

ثامناً — بفضل ما يحتويه اللعاب من المخاطين يقى اللعاب الغشاء المخاطى من فعل السخونة والبرودة والأحماض وغيرها .

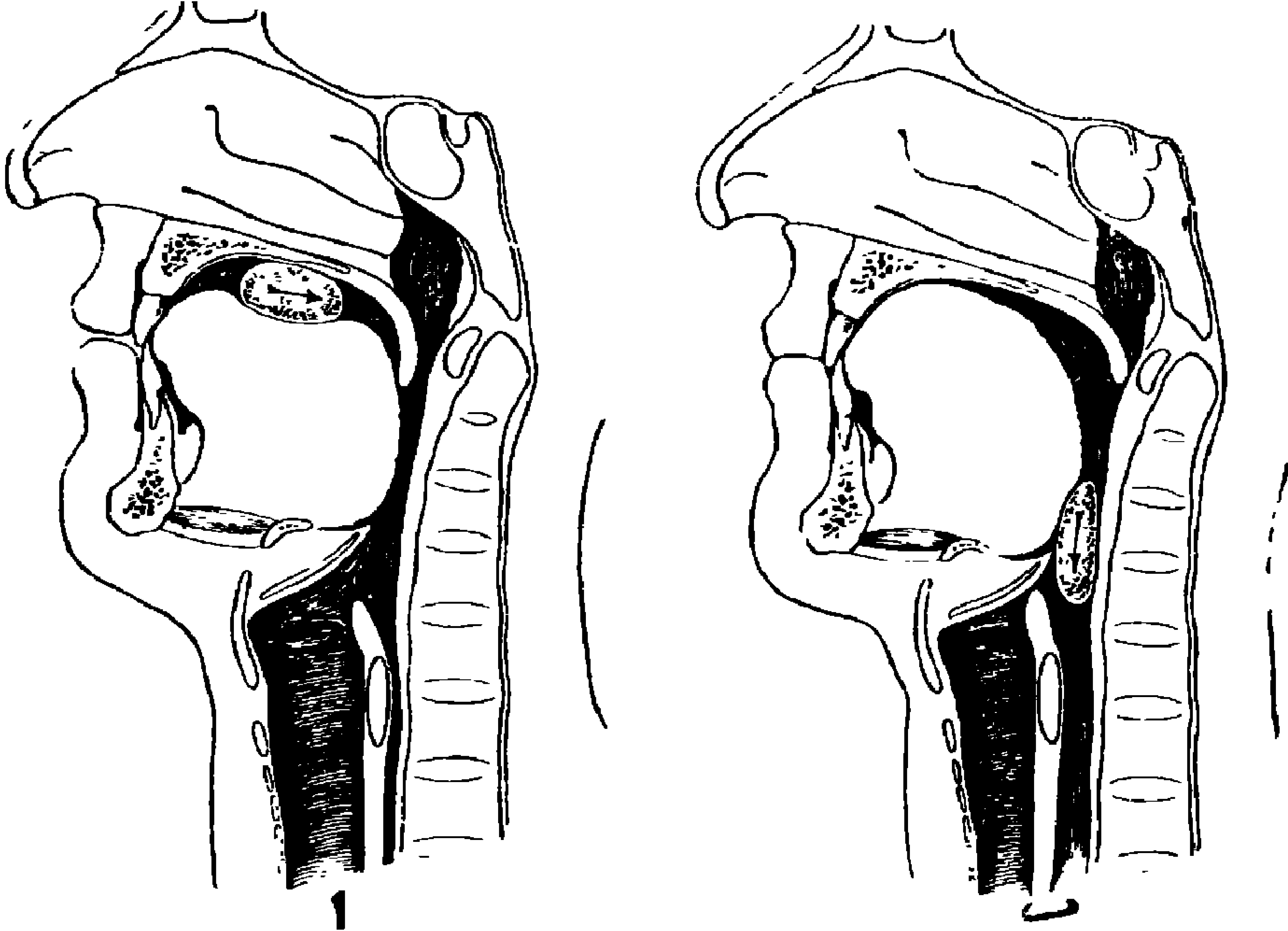
البلع

البلع هو العملية التى يتم بها مرور البلعة الغذائية من الفم إلى المعدة ، ويتم ذلك بوساطة انقباضات منتظمة تقوم بها عضلات اللسان والبلعوم والمرىء ويمكن دراسة عملية البلع بوساطة أشعة رونتجن ، وذلك بأن تعطى شخصاً طعاماً مخلوطاً به كبريتات الباريوم ، وهى غير شفافة للأشعة ، فاذا كان الطعام سائلا كاللبن مر بسرعة فى المرىء حتى يصل إلى فتحة المعدة الفؤادية (cardiac sphincter) ثم يمر ببطء فى مجرى ضيق إلى المعدة . ومتوسط الوقت الذى يأخذه الطعام السائل فى عملية البلع ، حتى تصل البلعة بأكملها نحو ست ثوان . وأما إذا كان الطعام جافاً فانه يأخذ وقتاً طويلا — قد يصل ربع ساعة — كى يصل إلى المعدة ، ولو أن الشخص لا يشعر بوجوده فى المرىء فى هذه المدة ، وهذا ما يحدث إذا بلعنا برشامة جافة مثلا ، ولكن

لو نديت البرشامة بالماء أو باللعاب كما هى العادة لمرت إلى المعدة بأسرع من ذلك كثيراً .

تنقسم عملية البلع إلى ثلاثة أقسام : فالأول هو مرور البلعة من برزخ الحلق ، والثانى اجتيازها للبلعوم فوق الفتحة العليا للحنجرة وتحت مؤخر الحفرة الأنفية ؛ والثالث مرورها فى المرىء إلى المعدة . وتتبع هذه الأقسام بعضها فى عملية البلع بدون توقف بين أى منها . وإذا بدئت عملية البلع استمرت رغم إرادتنا حتى النهاية .

بعد مضغ الطعام يجمع على شكل بلعة فوق اللسان (شكل ١٨ ا) ثم



(شكل ١٨) (عن ينبردج)

يرفع اللسان ويقذف البلعة من برزخ الحلق وبذا يتم القسم الأول من عملية البلع . وهذا القسم إرادى بعكس القسمين الأخيرين اللذين ينتجان من أفعال منعكسة غير إرادية . وبينما تمر البلعة فى البلعوم تكون فى مجرى مشترك للطعام وللهواء ولذلك يتم القسم الثانى بسرعة ويكون مصحوبا بأقفال فتحتي المجارى الهوائيـة فى البلعوم ، فيرتفع الحنك الرخو (soft palate) ، ويقفل الحفرة الأنفية ، ويكون سداً بين خلف الأنف والبلعوم . وكذلك

تقفل فتحة الحنجرة بوساطة انقباض عضلاتها وارتفاع فتحة الحنجرة إلى أعلى والأمام واختبائها خلف قاعدة اللسان (شكل ١٨ ب) ويصحب إقفال المجارى الهوائية منع جميع حركات التنفس وكذلك يرتخى الجزء الأول من المرىء ليستقبل البلعة الغذائية ويتم كل ذلك بوساطة أفعال منعكسة وبذا يمنع مرور الطعام فى المجارى الهوائية . ويتم الجزء الثالث بوساطة انقباض عضلات المرىء انقباضاً دودياً (Peristaltic)

ويوجد المركز العصبى لعملية البلع فى النخاع المستطيل وتحدث عملية البلع بانتظام تام فى حيوان استئصل منه المخ (cerebral hemispheres) . إذا ما وضع الطعام فى الفم . وتمر الاشارات الواردة فى الأعصاب المخية الخامسة والتاسعة والعاشرة إلى المركز العصبى. وأما الاشارات الصادرة فتمر فى العصب المخى الثانى عشر الى عضلات اللسان وفى الأعصاب المخية الخامسة والتاسعة والعاشرة والحادية عشرة إلى عضلات الحلق والبلعوم والمرىء .

الباب السادس

الهضم فى المعـــدة

المعدة عضو عضلى مجوف ، تغلفه طبقة خارجية من البريتون ، ويبطنه غشاء مخاطى من الداخل . وللمعدة فتحتان : إحداهما إلى اليسار تميل قليـلا للخلف ، وتسمى فتحة الفؤاد وتصلها بالمرىء ؛ والآخرى جهة اليمين ، واسمها فتحة البواب ، وتصلها بأول الاثنى عشر . وحول هذه الفتحة ألياف عضلية متينة تسمى بالعضلة البوابيه العاصرة وتنقسم المعدة (شكل ١٥) الى ثلاثة أجزاء ، وهى: القاع ، وهو الجزء المنتفح الذى يعلو فتحة الفؤاد وعندما يكون الانسـان واقفاً ؛ والجسم ، وهو الجزء المنتفخ الذى يليه والذى يتراكم فيه الطعام بعد تنـاوله ؛ ثم البواب ، وهو الجزء الذى يلى الجسم ويفتح فى الاثنى عشر ويوجد بين الجسم والبواب حز مستعرض يبدأ من انحناء المعدة العلوى ويحتوى الغشاء المخاطى للمعدة على عدد كبير من الغدد الأسطوانية تفتح كل منها بقاع حفرة صغيرة . وتختلف غدد القاع والجسم عن غدد البواب ويوجد فى غدد قاع المعدة وجسمها ثلاثة أنواع من الخلايا .

(١) خلايا مخاطية توجد عند فتحة الغدة ؛ وتفرز هذه الخلايا المخاطين .

(٢) خلايا ببسينية توجد بالغدة نفسها ، بها حبوب تتحول إلى الببسين عند عملية الافراز .

(٣) خلايا حامضية لا تـكون طبقة مستمرة بل توجد بين الخـلايا الببسينية والغشاء القاعدى .

وتتصل هـذه الخلايا بتجويف الغدد بوساطة مجارى رفيعة تمر بين الخلايا الببسينية . وتفرز هذه الخلايا الحامضية حامض الكلوردريك .

وأما الغدد الموجودة فى البواب وعند الفتحة الفؤادية فهى متعرجة ولا تحوى خلايا بيسينية أو حامضية ، وليس بها إلا خلايا مخاطية .

العصير المعـــــدى

يمكن الحصول على عصير معدى نقى وخال من الطعام كما سنرى فيما بعد وكثافة هذا العصير من ١٠٠٦ — ١٠٠٧ : وبه ٠,٤٪ إلى ٠,٥٪ حامض كلوردريك وأسه الايدروچين ٠,٩ — ١,٥ ؛ وبه عناصر غير عضوية أخرى كالتى توجد فى البلازما ، ونحو ٠,٤٥٪ مواد عضوية وهى مخاطين وببسين (pepsin) ورنين (Rennin) أومنفحين وليبيز معدى(gastric lipase)

حامض الكلوردريك : قد كان يظن أولا أن الخلايا الحامضية تفرز كلورور الأمونيا ثم يمتص الأمونيا وتبقى حامض الكلوردريك فى العصير المعدى ولكن وجد ايفى (Ivy)أن تفاعل الخلايا الحامضة وقت الافراز يميل كثيراً إلى الحموضة ، مما يدل على أن حامض الكلوردريك يتكون بداخل الخلايا وليس فى القنوات .

ويشتق حامض الكلوردريك من كلورور الصوديوم الموجود فى الدم ويثبت ذلك ما يأتى :

١ — عند اطعام الحيوانات ، كالكلاب طعاماً خالياً من الكلورورات عدة أسابيع يقف إفراز حامض الكلوردريك فى العصير المعدى .

٢ — إذا فقد العصير المعدى من الجسم باستمرار بوساطة ناصور صناعى يعمل بالمعدة أدى ذلك إلى نقص كبير فى الكلورورات الموجودة بالدم. وربما مثلت المعادلة الآتية التفاعل الذى يكوّن حامض الكلوردريك ولو أنه قد تكون هناك خطوات متوسطة أكثر تعقيداً .


يد٢ ك ا٣ + ص كل = يد كل + ص يد ك ا٣

ويثبت ذلك ما يأتى :

أولا — إذا زدنا عملية التنفس قل ثانى أكسيد الكربون الموجود بالدم. وقل حامض الكلوردريك من العصير المعدى ويحصل عكس ذلك إذا جعلنا الحيوان يتنفس مزيجا من الهواء يحتوى على كمية كبيرة من ثانى أكسيد الكربون

ثانياً — وجد أن كمية حامض الكلوردريك بالعصير المعدى الناشىء من تنبيه العصب الرئوى المعدى يمكن إنقاصها كثيراً إذا قللنا كمية ثانى أكسيد الكربون بالدم عن ٣٠ سنتيمتراً مكعباً فى كل ١٠٠ سم^{٣} من الدم .

ثالثاً — ثبت حديثاً وجود خميرة كربونيك أنهيدريز (Carbonic anhydrase) فى الغشاء المخاطى لجسم المعدة وهذه الخميرة تسرع اتحاد ثانى أكسيد الكربون مع الماء فتكون حامض الكربونيك ، وقد وجد أن هناك علاقة بين كمية الخميرة الموجودة وعدد الخلايا الحامضية مما يثبت وجود الخميرة فى الخلايا الحامضية ومعنى ذلك تركيز حامض الكربونيك فى الخلايا الحامضية مما يجعل تكوين حامض الكلوردريك من كلورود الصوديوم محتملا.

وظائف حامض الكلوردريك

(١) يحول هذا الحمض الخميرة ببسينوجين (pepsinogen) إلى خميرة البيبسين الفعالة كما وأن وجود الحمض أساسى لعمل الخميرة الموجودة فى إفراز المعدة التى لا تقوم بعملها إلا فى وسط حامضى .

(٢) إذابة الأملاح الغير العضوية ، مثل كربونات الكالسيوم أو أملاح الحديد ، وبذا تجعلها سهلة الامتصاص . وقد وجد أن حالات كثيرة من فقر الدم يصحبها عدم وجود حامض الكلوردريك فى إفراز لمعدة .

(٣) قتل معظم الميكروبات التى قد تؤخذ مع الطعام .

(٤) تحليل مائى لبعض ثنائيات التسكر والدهن .

(٥) يرسب كازينوجين اللبن .

(٦) إذا كانت محتويات المعدة حامضية زاد النشاط العضلى لفتحة الفؤاد وبقيت مقفلة ، وإذا كانت محتويات الاثنى عشر حامضية زاد النشاط العضلى لفتحة البواب وبقيت مقفلة — وهكذا ينظم الحامض عمل فتحتى المعدة

(٧) عند ما يترك الحمض المعدة يؤثر فى خلايا الغشاء المخاطى للاثنى عشر والأمعاء الدقيقة ، ويجعلها تفرز الهرمون سكرتين (Secretin) الذى يمر بالدم ، ويدعو إلى إفراز البنكرياس والكبد .

وبالنسبة لأهمية هذا الحمض فى وظيفة المعدة كان تمييز وجوده فى إفرازها مرغوبا فيه لتشخيص كثير من الحالات المرضية ؛ ويستدل على وجوده فى الافراز المعدى بوساطة محاليل كيميائية تعطى لونا مع الأحماض القوية كحامض الكلوردريك ولكنها لا تتأثر بالأحماض الضعيفة كحامض اللبنيك الذى قد يتكون فى المعدة من التعفن البكتيرى لمائيات الكربون أو كالأحماض الدهنية . وأكثر هذه المميزات استعمالا هو محلول جنسبرج (Gunsberg). فإذا وضعنا نقطة منه فى جفنه ، وبخرناها حتى تجف، ثم أضفنا إليها نقطة أخرى من العصير المعدى الذى يراد امتحانه ، وتركناها حتى تتبخر — نرى لونا أحمر فاتحاً فى حالة وجود حامض الكلوردريك لا فى حالة الأحماض الضعيفة الأخرى .

وظيفة الخميرة ببسين (Pepsin) : تهضم هذه الخميرة البروتينات وتحولها إلى بروتيوز فبتون ولا يمكنها أن تحلل البيتونات الى جزيئات أصغر منها مهما سمح لها من الوقت . ويكون أقوى عمل للخميرة عند ما يكون الأس الايدروجينى ١,٥ ويقف عملها عند الأس الايدروجينى ٥

وظيفة الخميرة رنين(Rennin): تفرز هذه الخميرة بوساطة الخلايا الرئيسية لغدد قاع المعدة وجسمها . وهى تؤثر على كازينوجين اللبن وتحوله إلى مادة

سائلة تشبه البروتيوز. وإلى باراكازين ذائب (Paracasein) ثم يتحد الباراكازين مع أيونات الكالسيوم ويترسب باراكازينات الكالسيوم. ولتجبن اللبن فى المعدة بهذه الخميرة فائدة مهمة إذ لو بقى سائلا لترك المعدة إلى الأمعاء الدقيقة بسرعة لا تسمح لهضمه بوساطة الخميرة پپسين.

وتختلف الخميرة رنين عن الخميرة پپسين فى أنها تكثر فى معدة الحيوانات الصغيرة حيث تقل الخميرة پپسين كما أن أقوى مفعول للخميرة رنين عند الأس الايدروچينى ٦ إلى ٦,٥ ولذلك فهى لا تعمل فى معدة الكبار ولكنها تعمل فى معدة الأطفال الراضعين حيث يكون الأس الايدروجينى لمحتويات المعدة من ٥ إلى ٦,٥ .

وظيفة الخميرة ليپيز (Gastric lipase) : تؤثر هذه الخميرة على الدهن وهى تختلف عن الخمائر المماثلة الموجودة فى عصيرى البنكرياس والأمعاء الدقيقة فى أن أقوى مفعول لها عند الأس الايدروجينى من ٤ إلى ٥ بينما لا تعمل تلك الخمائر إلا فى وسط قاعدى ويقف عمل ليپيز المعدة عندما يكون الأس الايدروجينى ٢,٥ ويعنى ذلك أن هذه الخميرة عديمة الفائدة فى معدة الكبار ولكنها قد تعمل فى معدة الصغار الراضعين حيث يكون الأس الايدروجينى لمحتويات المعدة موافقاً لعملها .

وظيفة المخاطين (Mucin) : يغطى المخاطين الغشاء المخاطى للمعدة ويحميه من تأثير حامض الكلوردريك وفضلا عن ذلك فللمخاطين مقدرة كبيرة على الاتحاد بالحامض وتقليل كمية الحامض المطلقة كما وأنه يقلل من افراز المعدة وبالنسبة لهذه الخواص المهمة استعمل المخاطين بنجاح فى علاج قرح المعدة والاثنى عشر .

إفراز العصير المعدى

تفرز المعدة باستمرار ولو أن افرازها قليل عند عدم تناول الطعام ويتكون هذا الافراز من البيسين ولكنه خال أو به قليل جداً من حامض الكلوردريك وعلى ذلك تحتوى المعدة دائماً على قليل من العصير المعدى مختلطاً بالمخاطين واللعاب ومحتويات الاثنى عشر .

ويكثر إفراز المعدة فى أقل من خمسة دقائق بعد تناول الطعام . ويستمر الافراز عدة ساعات بعد الأكل وربما بلغ بعد أكلة جيدة نصف لتر أو أكثر . ويمكن الحصول على إفراز المعدة فى الانسان باعطاء شخص بعض الثريد وجعله يبلع أنبوبة من المطاط تصل معدته بالخارج وتسحب بوساطتها بعض محتويات المعدة . وتستعمل هذه الطريقة فى الأحوال المرضية للكشف عن مقدرة المعدة على العمل وعن نوع إفرازها . وليس العصير الذى يجمع بهذه الطريقة نقياً إذ يحتوى على طعام مهضوم . ولكن أمكن فى بعض الأحوال جمع عصير نقى خال من الطعام فمثلا فى إحدى الحالات تعاطى شخص مادة قاعدية كاوية ألهبت المرىء وتسببت فى إقفاله وعملت له فتحة صناعية فى المعدة ليتغذى منها وقد وجد أن مجرد وضع الطعام بالفم يؤدى إلى إفراز المعدة ولو أنه لا يبلع ولا يصل إليها .

كيفية افراز العصير المعدى (Mechanism of gastric secretion)

يمكن تقسيم الافراز المعدى إلى ثلاثة مراحل وهى :

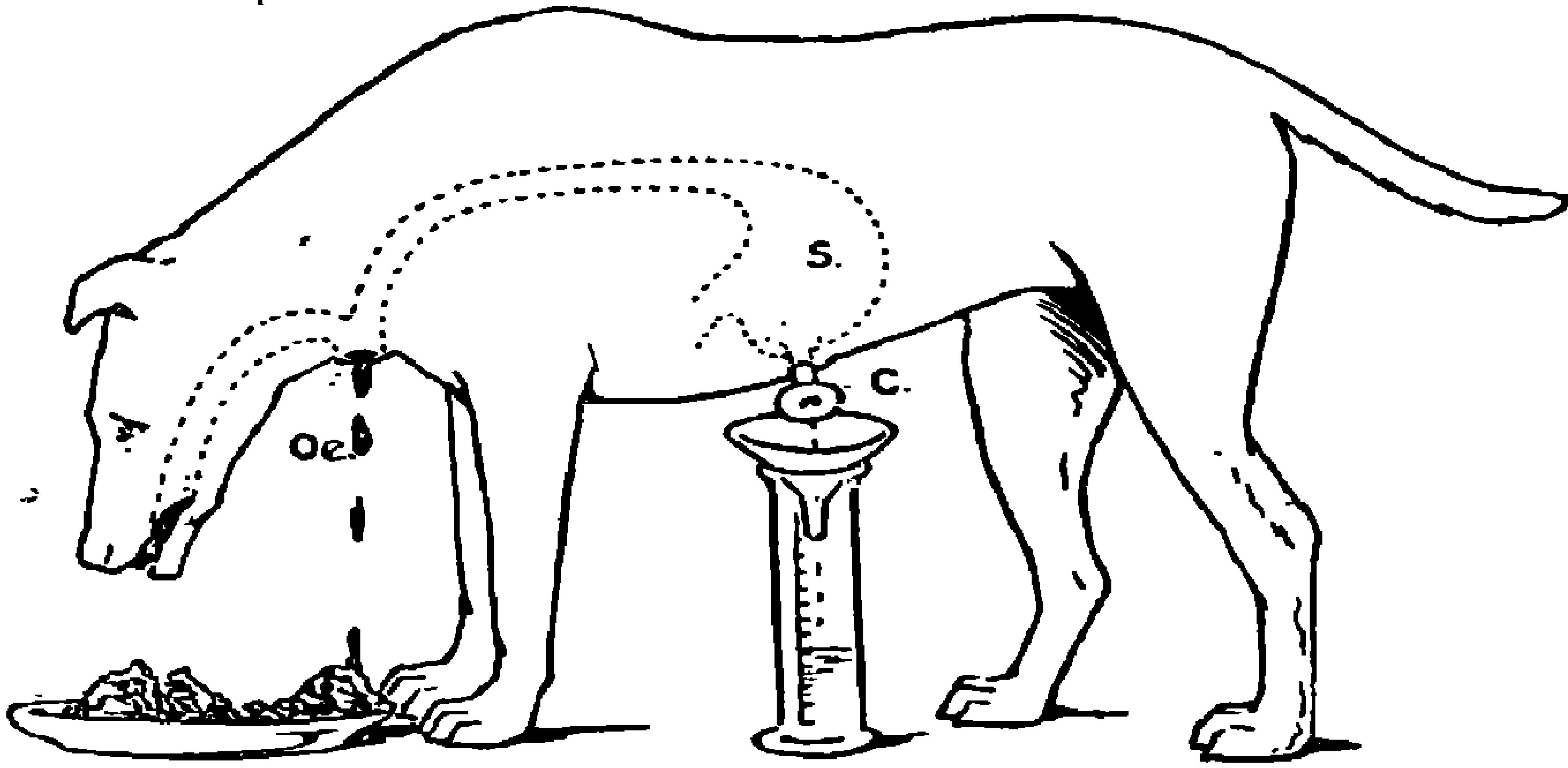
١ — الافراز العصبى .

٢ — الافراز الكيميائى الذى ينتج من وجود الطعام بالمعدة .

٣ — الافراز الكيميائى الذى ينتج من وجود الطعام بالاثنى عشر .

١ — **الافراز العصبى** : أمكن دراسة هذه المرحلة من الافراز المعدى

بوساطة التجارب الشهيرة التى قام بهـا العلامة الروسى باڤلوف على الكلاب



(شكل ١٩) عن ستارلنج

فقد قطع باڤلوف المرىء (شكل ١٩) عند الرقبة ، وجعل فتحته العليا تفتح إلى الخارج وبذا يأكل الحيوان الطعام ولـكنه لا يصل إلى معدته بل يسقط من فتحة المرىء إلى الخارج ؛ ويسمى ذلك بالتغذية الكاذبة (Sham feeding) وكذلك عمل باڤلوف فى نفس الحيوان فتحة صـناعية فى معدته تفتح إلى الخارج يجمع منها إفراز المعدة ، فوجد أن هذه التغـذية الكاذبة للحيوان تؤدى إلى إفراز كثير من المعدة . ويبتدئ الافراز بعد مدة كامنة قصيرة — أقل من خمس دقائق . وقد تصل كمية العصير المعدى التى تجمع بهذه الطريقة إلى نصف لتر فى ساعات قليلة ويتنج هذا الافراز عن فعل منعكس إذ يقف نهائياً إذا قطعت الأعصاب الرئوية المعدية التى تجهز المعدة ، أو إذا حقنت مادة الأتروبين فى الحيوان ، إذ تشل هذه المادة عمل هذه الأعصاب . وليس لخواص الطعام الطبيعية أو الـكيميائية أى تأثير فى هذا الافراز العصبى ، ولـكن أهم شىء هو مذاق الطعام وحالة الحيوان : فاذا كان جائعا كان الافراز كثيراً . وليس من الضرورى أن يعطى الطعام للحيوان كى يحصل هذا الافراز العصبى ، إذ أن مجرد رؤية الطعام أو شم رائحته كاف لاستدرار إفراز المعدة ، نتيجة لفعل شرطى . وهذا الافراز الشرطى فى غاية الأهمية ،

إذ أنه إذا وضع الطعام مباشرة فى معدة الحيوان دون أن ينبه الحيوان إلى ذلك بقى الطعام فى معدته مدة طويلة دون أن يهضم .

٢ — **الإفراز الناتج من وجود الطعام بالمعدة** : فصل باڤلوف جزءاً من جسم المعدة عن باقيها ، وجعله يفتح إلى الخارج ، وعمل فتحة أخرى فى المعدة ، وبقى الجزء المنفصل متصلا بشراينه وأعصابه . وقد وجد أن وجود الطعام فى المعدة يدعو إلى إفراز من الجزء المنفصل وليس للأعصاب التى تربط المعدة بالجهاز العصبى الرئيسى أى دخل فى هذا الافراز إذ يستمر بعد قطع أعصاب المعدة كلها بما فى ذلك أعصاب الجزء المنفصل . وقد نبه باڤلوف الغشاء المخاطى للمعدة تنبيهاً ميكانيكياً دون نتيجة ، ولكن أيڤى (Ivy) يقول إن تمدد جدران المعدة يدعو إلى بعض إفرازمنها ، ولو أن هذا الافراز قليل ؛ ولا يفسر بأى حال الافراز الذى ينتج عن وجود الطعام بالمعدة . ويتسبب الافراز من تنبيه كيميائى للغشاء المخاطى للبواب الذى يفرز مادة تسمى جاسترين أو مَعدِين(gastrin) تعمل كهرمون وتمر بالدم إلى غدد جسم المعدة وقاعها فتدعو إلى الافراز .

ويفرز الجاسترين بالبواب نتيجة لبعض مواد الطعام دون غيرها ، ومن أقوى المواد تأثيراً شربة اللحم أو مستخرج ليبج (Liebig's extract) والبروتيوز والپيتون الذى ينتج من هضم البروتينات بوساطة الخميرة پپسين، فى حين لا يوجد للخبز أو للبروتين نفسه أى تأثير . ويثبت هذا الافراز الكيميائى ما يأتى :

(١) إذا استخرج الغشاء المخاطى للبواب بوساطة محلول ملح وحقن بالدم أدى إلى إفراز المعدة .

(٢) فى تجربة باڤلوف التى فصل فيها جزء من المعدة عن باقيها يفرز هذا الجزء إذا وضع بالمعدة شربة اللحم أو پروتيوز أو پپتون بعد نحو ثلاثين دقيقة من وضع الطعام بالمعدة حتى بعد قطع أعصاب جزء المعدة المنفصل .

ثالثاً — زرع إيڤى (Ivy) جزءاً من الغشاء المخاطى للمعدة عند صدر

الحيوان ووجده يفرز بعد ٣٠ إلى ٦٠ دقيقة من وضع الطعام بالمعدة . ولما كان الاتصال الوحيد بين المعدة وهذا الجزء هو عن طريق الدم يثبت ذلك بلا تردد كيميائية هذه المرحلة من الافراز .

وهناك رأى أن الهرمون جاسترين هو مادة الهستامين (Histamine) التى توجد بكثرة فى معظم أنسجة الجسم ، والتى تدعو إلى إفراز شديد من المعدة إذا حقنت بالدم . ولكن هناك أدلة كثيرة على أن الجاسترين يختلف عن الهستامين . ومن هذه الأدلة ما يأتى :

١ — الافراز الناشىء عن الهستامين فقير فى الخميره پپسين بعكس الافراز الناشىء عن المعدين .

٢ — يوجد الهستامين فى قاع المعدة وجسمها بكميات أكثر من البواب . ومع ذلك نرى أن ملاصقة الطعام بالبواب فقط هى التى تؤدى إلى إفراز المعدة الكيميائى وليس لملاصقة الطعام بالقاع أو بالجسم هذا التأثير .

٣ — إذا حقنت مقادير صغيرة من الأتروبين منعت الافراز الناشىء عن المعدين ولكنها لا تمنع إفراز الهستامين . ويدل ذلك على أن المعدين يقوم بعمله بوساطة الشبكة العصبية الموجودة بجدار المعدة (Auerback's plexus)

٤ — يستخرج حامض الكلوردريك الهستامين بسهولة من أنسجة الجسم ولكنه لا يؤدى إلى أى افراز إذا وضع بالبواب .

٥ — وجد طلعت وشيركوا فى تجارب عملت على الكلاب قطع فيها العصبان المخيان العاشران فى الصدر — تلافيا لأى افراز عصبي — أن كمية الهستامين لا تزيد فى الدم الشريانى وقت الافراز الكميائى المعدى مما يثبت أن المعدين مادة أخرى غير الهستامين .

٣ — **الافراز الناتج عن وجود الطعام بالاثنى عشر** : عند ما تمر نتائج هضم الطعام بالمعدة إلى الاثنى عشر يدعو إلى استمرار الافراز من المعدة ، وإذا وضع فى الاثنى عشر — عن طريق فتحة صناعية تعمل به —

ماء أو مستخرج اللحم أو ببتون أو كبريتات المغنسيوم أو صابون أدى ذلك الى إفراز من المعدة بعد مدة كامنة طويلة تتراوح بين ساعة وساعتين وغالبا ينتج هذا الافراز من امتصاص بعض محتويات الطعام أو بعض المواد من جدار الأمعاء ، وذلك لأنه لو فرغت الامعاء الدقيقة من محتوياتها قبل الامتصاص لا يحدث الافراز المعدى .

تأثير الدهن فى الافراز المعدى

يقلل الدهن إفراز العصير المعدى فى جميع مراحله كما يقلل من حركات المعدة . وليست كيفية عمل الدهن واضحة بالضبط . ويدعى لِمْ (Lim) أن هناك هرمونا خاصا ، فاذا وضع الدهن فى كيس من المعدة منفصل عن باقيها ومقطوع أعصابه أدى ذلك إلى ردع الافراز من باقى المعدة ، فيقل حجم الافراز وحموضته ومقدار الخمائر التى به . وقد حضر ايفى (Ivy) مستخرجا من الغشاء المخاطى للأمعاء الدقيقة يقلل إفراز المعدة وحركتها إذا حقن بالدم . وقد سمى هذا الهرمون إنتروجاسترون (Entrogastrone)

حركات المعدة

يمكن دراسة حركات المعدة فى الحيوان أو الانسان بوساطة أشعة رونتجن . وذلك بأن يعطى الشخص طعاما من الخبز واللبن مخلوطا ببعض من كبريتات الباريوم التى لا تؤثر فى عمليـة الهضم أو فى حركات المعدة ولـكنها تجعل محتوياتها معتمة ، أى غير شفافة للاشعة . وتبدأ حركات المعدة بعد دخول الطعام اليها مباشرة . ويختلف نوع الانقباض فى النصف الأعلى من المعدة عنه فى نصفها الأسفل . ففى قاع المعدة والنصف الأعلى من الجسم يحدث انقباضا مستمرا ضعيفا (tonic contraction) فى حين تبدأ عند منتصف جسم المعدة تقريبا موجات انقباضية دودية (peristaltic waves)

تسير ببطء نحو البواب . وتتغير قوة هذه الموجات أثنـــاء رحلتها فتارة تكون قوية وتارة تكون ضعيفة وتتلو هذه الموجات بعضها بانتظام من ثلاث مرات إلى اربع فى الدقيقة . وقد يرى عدد من هذه الانقباضات فى وقت واحد . ولهذه الموجات الانقباضية فائدة عظيمة إذ أنها تكسر وتجزىء قطع الطعام وتمزجها بالعصير المعدى مزجاً تاما . وعندما تصل موجة قوية إلى العضلة البوابية تفتحها و تفرغ بعض محتويات المعدة فى الاثنى عشر .

وتتأثر حركات المعدة بعدة عوامل منها مايأتى :

١ — كمية الأكل: إذا كانت وجبة الطعام كبيرة ومددت جدران المعدة زادت من الحركات ومن قوتها ولكن إذا كان تمدد جدران المعدة بالطعام شديداً جداً قلل ذلك حركات المعدة وأدى إلى عسر هضم الطعام .

٢ — نوع الأكل : يقلل الدهن من حركات المعدة وبذا يبقى بها مدة طويلة عن ماثيات الكربون أو البروتينات .

٣ — حالة الشخص : تقل حركات المعدة فى حالات الألم والتعب الجسمانى أو الفكرى والخوف والحزن ووقت عمل مجهود رياضى .

٤ — مواد كيميائيـة : يزيد الكحول (الخمر) والقهوة والهستامين والانسولين من حركات المعـدة بينما يقلل التدخين والاتروبين ونقص الفيتامين ب$_1$ هذه الحركات .

٥ — الحميات : تقل حركات المعدة فى الحميات .

ويتم تفريغ محتويات المعده فى الاثنى عشر بعد مدة تتراوح بين ساعتين وأربع ساعات من تناول الطعام . وقد كان من المعتقد به أن وجود حمض الكلوردريك بالمعدة ينظم عملية تفريغها فكلما اشتدت حموضة المعدة ارتخت العضلة العاصرة للبواب . ولكن أبحاثا حديثـة دلت على خطأ هذه النظرية وعلى أن العضلة العاصرة البوابية تفتح عندما يزيد الضغط فى البواب نتيجة انقباضات قوية . وعلى ذلك يظهر أن العلاقة بين حموضة المعدة وبين ارتخاء

عضلة البواب ماهى إلامسألة عرضية — وكذلك وجد أنه ليس للعلاقة بين حموضة محتويات الاثنى عشر وزيادة النشاط العضلى للعضلة البوابية العاصرة (صفحة ٧٢) أى تأثير على سرعة تفريغ محتويات المعدة إذ أن عملية تفريغ الكيموس من المعدة إلى الاثنىعشر لاتتأثر بأىحال من الأحوال فى بعض الأحوال المرضية التى لاتفرز فيها المعده حامضالكلوردريك مطلقا وفضلا عن ذلك فقد وجد فى حالات استئصال العضلة البوابية العاصرة من المعدة أن سرعة تفريغ محتويات المعدة لاتختلف كثيرا عنها فى الأحوال الطبيعية. مما تقدم نستنتج أن سرعة تفريغ محتويات المعدة تتوقف مبدئياً على حركاتها وأنه ليس للعضلة البوابية العـاصرة دخل كبير فى ذلك كما كان يظن مبدئياً فكلما زادت حركات المعدة كان هضم الطعام بها سهلا وكان تفريغ محتوياتها إلى الاثنى عشر سريعاً.

ولا يبقى الماء فى المعدة بل يمر إلى الأمعاء فى مدة دقيقة أو اثنين وتفرغ مائيـات الـكربون بسرعة عن اللحوم وأما الدهن فيبقى بالمعدة مدة طويلة.

تأثير الاعصاب على حركات المعدة : ولو أن حركات المعدة — كغيرها من العضلات الغير الإرادية — لا تعتمد على الأعصاب لحدوثها. إلا أن هـذه الأعصاب تنظمها. وقد وجد أن تنبيه أعصاب المعـــــدة سواء الباراسمپاثوية أو السمپاثوية قد تؤدى إلىزيادة أو إلى قلة الحركات. ويتوقف ذلك على حالة الحركات وعلى الضغط بداخل المعدة قبل التنبيه. فلو كانت الحركات قوية وكان الضغط بداخل المعدة كبيراً قبل التنبيـه أدى تنبيه العصب الرئوى المعدى أو العصب السمپاثوى إلى ارتخاء عضلات المعدة. وأما إذا كانت عضلات المعدة مرتخية أدى التنبيه إلى زيادة الحركات فى العدد والقوة وإلى زيادة الضغط بداخل المعدة.

مما تقدم نستنتج أنه يوجد بكلا العصبين الرئوى المعدى والسمباثوى

ألياف محركة وألياف رادعة ولو أن الألياف المحركة تكثر جداً فى العصب الرئوى المعدى بينما تكثر الألياف الرادعة فى العصب السمپاثوى . إذ أنه لو قطع العصبان الرئويان المعديان فى أسفل الصدر — أى بعد أن يعطيا فروعهما للقلب والحنجرة والرئتين — بقى الطعام بلا هضم فى المعدة طويلا وأما إذا قطعت الأعصاب السمپاثوية ترك الطعام المعدة فى زمن أسرع مما لو كانت هذه الأعصاب سليمة ويظهر تأثير ذلك جلياً إذا تكون الطعام من الدهن (أنرپ وشيركوا) .

ترجيع محتويات الاثنى عشر الى المعدة : عند أواخر عملية الهضم فى المعدة ترتخى العضلة العاصرة للبواب حتى فى حالة عدم وجود انقباضات معدية قوية وعندئذ يرجع الكيموس ثانية من الاثنى عشر إلى المعدة . ويكون الكيموس مصحوباً ببعض من إفراز البنكرياس والصفراء فتقل حموضة المعدة .

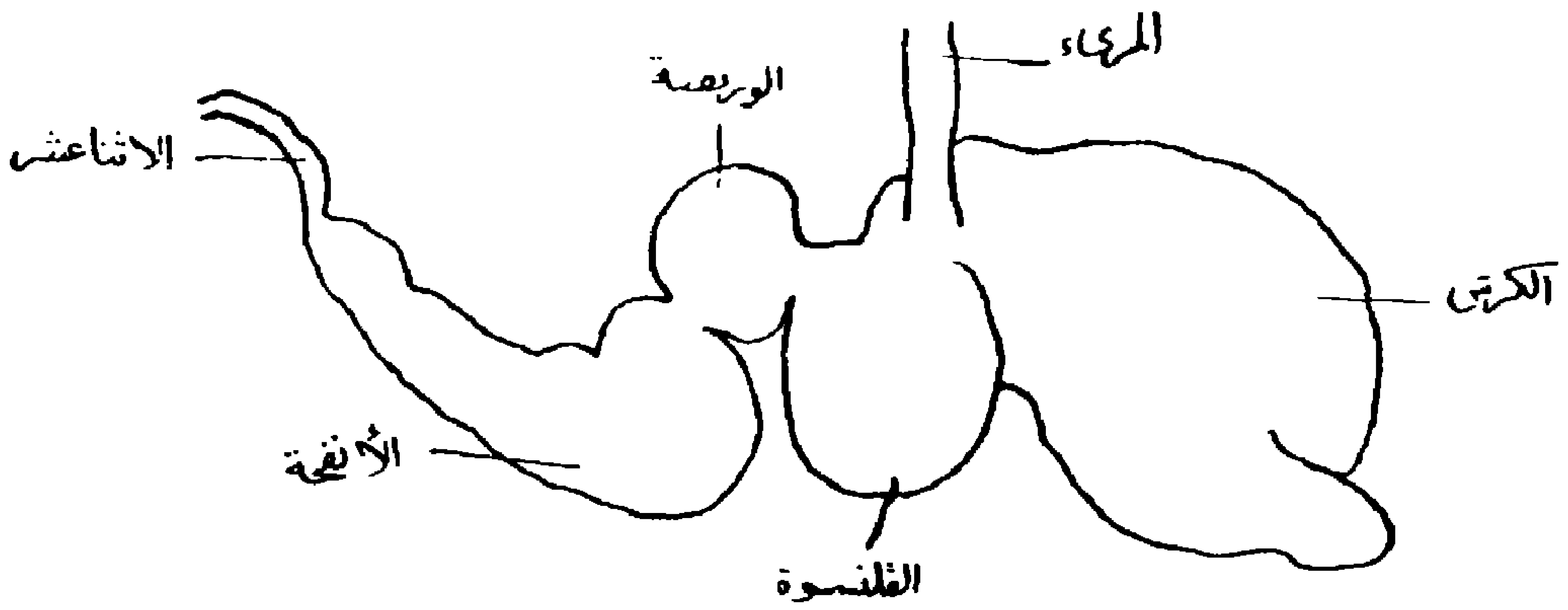
القىء ×

القىء هو العملية التى يحصل بها تفريغ محتويات المعدة عن طريق الفم ؛ ويحدث ذلك بوساطة فعل منعكس يتسبب من تمدد المعدة — وخصوصاً جدران البواب — بالطعام ؛ أو من وجود مواد مهيجة بها . ويوجد المركز العصبي للقىء فى النخاع المستطيل . ويسبق القىء غالباً تهوع وإفراز لعاب كثير يزيد من تمدد المعدة عند بلعه . وتحدث عملية القىء بأن يأخذ الانسان شهيقاً طويلا ثم تقفل فتحة الحنجرة ويستمر انقباض عضلة الحجاب الحاجز . وتنقبض عضلات جدران البطن فيزداد الضغط داخل البطن . ثم ترتخى الفتحة الفؤادية المعدية وتنقبض المعدة ثم تقذف محتوياتها إلى الخارج عن طريق المرىء ؛ ويحصل القىء من تهيج أعضاء أخرى كثيرة غير المعدة ، كمؤخر اللسان ، وحوض الكلى ، والحالب ، والزائدة الدودية ،

والمرارة ، والأمعاء ، والرحم . ولذلك نجده يصحب الأمراض التى تنتاب هذه الأعضاء . كما يحصل القيء فى حالات دوار البحر نتيجة تهيج العينين والأذن الباطنة بقنواتها النصف الدائرية . والقيء أيضاً من عوارض أمراض المخ والمخيخ . ويمكن إحداث القيء بوساطة العقاقير والأدوية التى تؤثر فى المعدة نفسها وتهيجها ، ككبريتات الزنك وعرق الذهب (Ipecacuenha) . ويؤثر بعضها الآخر ، كالأبومورفين ، فى المركز العصبي فى النخاع المستطيل .

الاجترار (Rumination)

تختلف عملية الهضم فى معدة الغنم والمواشى عنها فى الحيوانات الأخرى كالحصان والكلب مثلا ذلك بأن الأولى تبتلع الغذاء بعد طحنه جزئيا بالفم ثم يعود مرة أخرى إليه بعد ساعة تقريبا ليطحن جيداً — وتسمى هذه الظاهرة بالاجترار وهى



(شكل ٢٠)

عملية عصبية عكسية مركزها النخاع المستطيل . أما الحيوان نفسه فيسمى بالحيوان المجتر . ويؤدى وظيفة الاجترار معدة مركبة من أربعة أجزاء وهى : الكرش (Rumen) ، والقلنسوة أو الشبكية (Reticulum) ، والوريقية (Omasum) ، والأنفحة (Abomasum) .

عملية الاجترار : يتناول الحيوان المجتر غذاءه فيطحنه طحنا غير كامل بفمه ثم يبتلعه مختلطا بأنزيمات اللعاب وبكتريا الطعام حيث يصل إلى الكرش أو المعدة

الأولى ، فتؤثر فيه هذه الانزيمات ، كما تحلل البكتريا ما به من سليلوز خلال عملية تخمر بنسبة ٦٠ — ٧٠٪ من حجمه الأصلى . وليس بهذه المعدة غدد هاضمة ، وهى تناظر أمعاء الحصان الغلاظ حيث يهضم السليلوز بالطريقة نفسها . ولهذه المعدة استطالة تسمى بالقلنسوة أو الشبكية ، ووظيفتها خزن السائل الخاص بتبليل الطعام ليسهل عودته مرة أخرى إلى الفم . وهنا يبدأ الطعام فى العودة إلى الفم عن طريق المرىء الذى يمتد على جانب الكرش والشبكية على شكل مجرى ذى شفتين بارزتين بتراخيهما يتصل المرىء بكل من الكرش والشبكية . ففى أثناء حركة الخلط بالكرش يضغط الطعام فى اتجاه مضاد لشفتى الحفرة نتيجة لانقباض عضلات البطن والحجاب الحاجز ولتنبيه جدار الكرش نفسه عصبياً بالطعام ، ويتبع ذلك دخول الطعام فى الجزء السفلى ومنه إلى الفم مبللا بسائل الشبكية، وذلك بمساعدة الموجات الديدانية لعضلات المرىء ، وفى الحال يعاد بلع الجزء السائل من الطعام . أما الجزء الأكثر صلابة فيعاد مضغه مدة دقيقة أو أكثر ، يؤثر فيه فى أثنائها انزيمات اللعاب ثم يبلع مرة أخرى . فان كان الطحن لا يزال جزئيا تراخت شفتا المرىء وعاد الطعام مرة أخرى إلى الكرش والشبكية ليعاد قذفه إلى الفم لطحنه مرة أخرى وهكذا . أما إذا كان الطحن جيداً فيحدث انضمام شفتى المرىء بدلا من تراخيهما ، وبذا تتكون قناة لحمل الغذاء مباشرة من المرىء إلى الوريقية أى الكرش الثالثة وتمتاز هذه بحوائطها ذات الثنايا العضلية المغطاة بنسيج طلائى خشن وقوى ، وتشبه فى توزيعها ورق الكتاب . أما وظيفتها فسحق المادة الغذائية وترشيحها ومنعها من المرور إلى الكرش الرابعة ، أى الأنفحة ، إلا إذا كانت مطحونة نهائيا . والأنفحة هى المعدة الحقيقية ، وتناظر غور أوقاع معدة الحصان ، وبها توجد الغدد الخاصة بافراز العصارة المعدية المحتوية على الخميرة ببسين .

ويتوقف بدء عملية الاجترار ، بعد تناول الطعام ، على نوع الطعام نفسه . فقد قيل أنها تبتدىء عقب أكل العشب مباشرة، كما تمتنع كلية فى حالة غياب الماء أو عند تناول غذاء مطحون تماما .

ومما هو جدير بالذكر أن انضمام شفتى المرىء لا يكون تاما الا فى الحيوانات الرضيعة ذلك لأنها ليست فى حاجة إلى الاجترار . والأنفحة هنا هى المعدة العاملة فقط . وبتقدم الحيوان فى السن تضعف القوة القابضة لعضلة شفتى المرىء . وتبدأ الكرش والشبكية والوريقية فى تأدية عملية الاجترار .

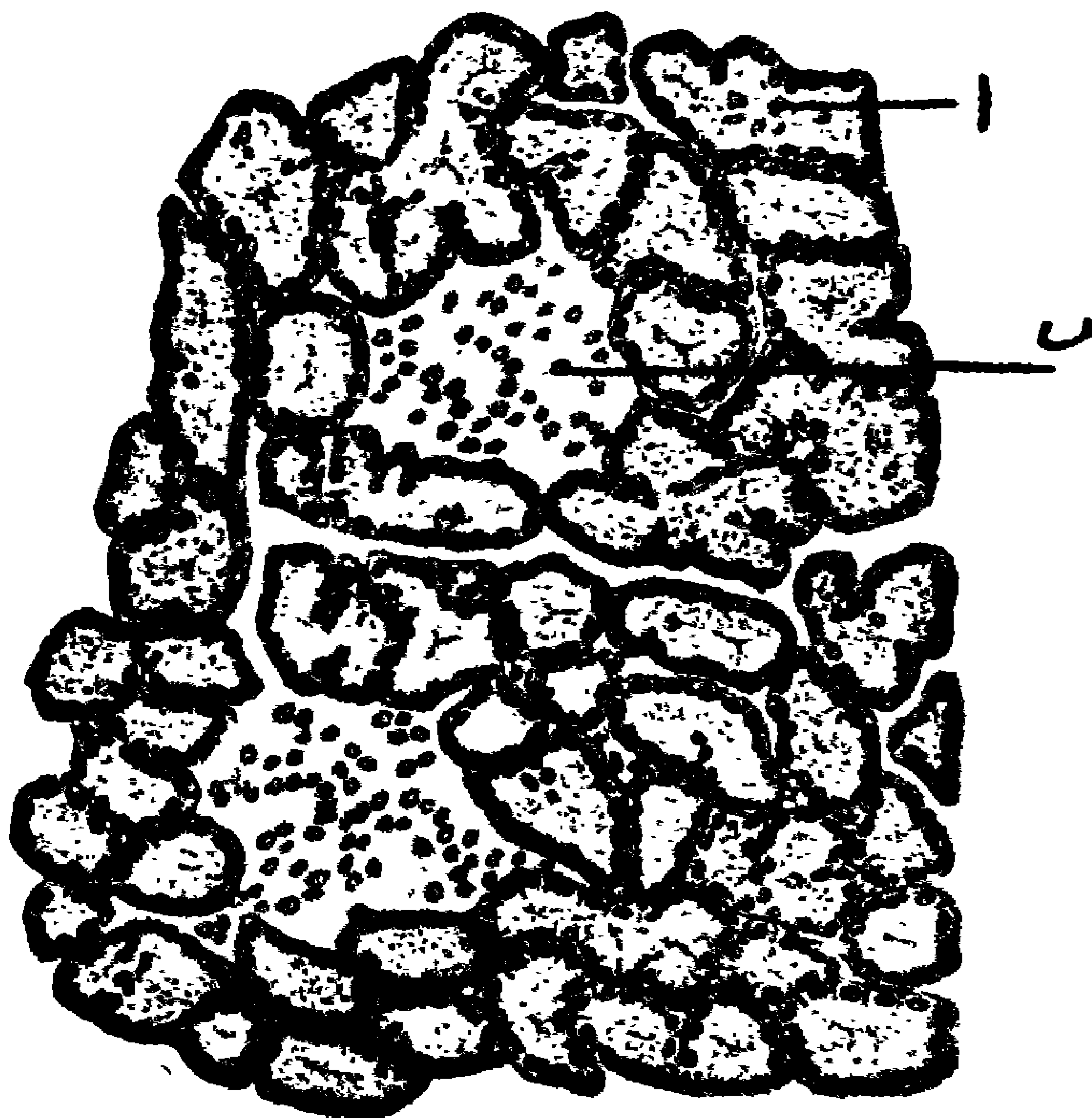
الباب السابع

الهضم فى الامعاء الدقيقة

يتكون الهضم فى الامعاء الدقيقة من تأثير إفرازات البنكرياس والكبد والغشاء المخاطى للأمعاء فى الكيموس الذى يمر من المعدة إلى الاثنى عشر . ولو أن هذه الافرازات تهضم المواد الغذائية فى وقت واحد إلا أننا سندرس كل واحدة منها على حدة منعا للتعقيد .

عصير البنكرياس

البنكرياس (شكل ٢١) غدة فى القسم الأوسط الأعلى من البطن ؛ ولها فى



(شكل ٢١) قطاع ميكروسكوبى من البنكرياس يبين
ا — عيون البنكرياس التى تفرز عصير البنكرياس الهضمى
ب — جزر لانجرهانز التى تفرز هرمون الانسولين

(عن مارشال وهالنان)

الانسان قناتان : أحداهما — وهى العليا — أكبر من الأخرى . وتفتح قناتا البنكرياس فى الجزء النازل من الاثنى عشر على بعد يتراوح بين سبعة سنتيمترات وعشر سنتيمترات من فتحة البواب . ويمكن الحصول على إفراز البنكرياس فى الحيوانات بتحويل مجرى القناة وجعلها تفتح للخارج . ولعصير البنكرياس تأثير فى جميع أنواع المواد الغذائية ، إذ يحتوى على الخمائر الآتية : تربسينوچين (Trypsinogen) وأميليز (Amylase) ومالتيز (maltase) وليبيز (Lipase) وعصير البنكرياس قاعدى إذ به كميات كبيرة من بيكربونات الصوديوم

عمل التربسين : لو جمعنا عصير البنكرياس بعناية تامة ، حتى لا يلامس الغشاء المخاطى للأمعاء ، لوجدنا أنه لا يؤثر مطلقا فى البروتينات . فاذا أضفنا إليه قليلا من عصير الامعاء اكتسب قوة عظيمة لهضم البروتينات — وذلك لأن عصير البنكرياس يحتوى على تربسينوچين ، وهو غير فعال : ويحتوى عصير الامعاء على مادة أخرى تسمى انتروكينيز أو مساعد التربسين المعوى (Entrokinase) تتحد مع التربسين غير الفعال بنسبة معينة ، ويتكون من اتحاد الاثنين خميرة التربسين الفعالة التى تؤثر فى البروتينات فتحللها إلى بروتيوز ، فببتون ، فأحماض أمينية مركبة (polypeptide) ، فأحماض أمينية — وبذلك تتم عملية هضم البروتينات التى بدأتها الخميرة ببسين فى المعدة . وهناك بعض الأحماض الأمينية المركبة تعجز الخميرة تربسين عن هضمها مهما سمح لها بالوقت الكافى لذلك . ويمكن تحويل التربسينوچين إلى تربسين بدون انتروكينيز بوساطة أيونات الكالسيوم . وأقوى عمل للخميرة يكون فى وسط قاعدى عند الأس الايدروچينى ٨ — ٩ . ويقوم التربسين أيضا بتخثير اللبن وترسيب الكازين وبذلك يبقى فى الأمعاء مدة أطول حتى تتمكن من هضمه . وربما وجدت الخميرة منفحين (Rennin) للقيام بالعمل نفسه أيضاً .

عمل أميليز البنكرياس : يقوم أميليز البنكرياس بعمل أميليز اللعاب نفسه ولو أنه أقوى منه كثيرا ، إذ أن له المقدرة على هضم النشاء الغير

المطبوخ فى حين لايهضم أميليز اللعاب إلا النشاء المطبوخ . ويحول أميليز البنكرياس النشاء بنفس الخطوات التى تنتج من عمل أميليز اللعاب ، وأقوى مفعول له عند الأس الايدروجينى ٦,٧—٧ ويلزم وجود كلورور الصوديوم لعمل أميليز البنكرياس ، كما يلزم لعمل أميليز اللعاب . وتحول خميرة المالتيز الموجودة ثنائى التسكر مالتوز إلى جزيئين من سكر العنب . ولكن ليس لعصير البنكرياس أى تأثير فى ثنائي التسكر سكر القصب وسكر اللبن ، إذ لايحتوى العصير على الخميرتين اللازمتين لهضمهما .

عمل ليبيز البنكرياس: تحول هذه الخميرة الدهن الى أحماض دهنية وجلسرين ؛ واذا كان الوسط قاعديا اتحدت الأحماض الدهنية مع القواعد وكونت صابوناً .

ولوجود أملاح الصفراء أهمية عظيمة فى هضم الدهنيات إذ أنها تزيد كثيراً من عمل الليبيز ، وذلك للأسباب الآتية :

١ — لو رججنا خليطاً من الزيت والماء ثم تركناه — ينفصل الزيت عن الماء ثانية ويكون طبقة على سطحه . وأما إذا جعلنا الخليط قاعدياً ثم أضفنا إلى الخليط بعضاً من أملاح الصفراء أمكننا أن نحصل على مستحلب مكون من فقاقيع صغيره من الزيت معلقة فى الماء ، ذلك لأن أملاح الصفراء تقلل الجذب السطحى (surface tension) وبهذه الطريقة يزداد سطح الزيت المعرض للحرارة فتزداد سرعة عملها .

٢ — حتى فى حالة استرات الأحماض الدهنية الصغيره مثل ثلاثى الخلين (Triacetine) التى تذوب فى الماء تزيد وجود أملاح الصفراء سرعة تحليلها بوساطة الليبيز ، أى أن لأملاح الصفراء تأثيرا فى عمل الليبيز فضلا عن تأثيرها فى الجذب السطحى .

٣ — لاتذوب الليبيز فى الماء ولكنها تذوب فى محلول من أملاح الصفراء .

٤ — تذيب أملاح الصفراء الأحماض الدهنية والصابون إذا مال الوسط قليلا إلى الحموضة .

إفراز عصير البنكرياس

لافراز عصير البنكرياس قصة شائقة فى تاريخ علم وظائف الأعضاء إذ أنها لم تقتصر على الكشف عن كيفية إفراز هذه الغدة ذات الأهمية العظيمة فى عملية الهضم بل فتحت باباً جديداً للبحث العلمى أدى الى تقدم سريع فى جميع العلوم الطبية .

فى أواخر القرن المنصرم وأوائل القرن الحاضر كان معملان منهمكين فى البحث عن الحقيقية — ففى موسكو كانت تجارب بافلوف (Pavlov) على الجهاز الهضمى مستمرة لمعرفة كيفية عمل الغدد الهضمية ، وفى لندن كان ستارلنج وبايليس (Starling & Bayliss) يبحثان فى حركات الأمعاء وفى أفعالها المنعكسه الموضعية . وقد وجد بافلوف — باستعمال طريقته المبتكرة من عمل فتحات صناعية فى قنوات الغدد تفتح إلى الخارج — أنه فى الغالب لا يمكن الحصول على أى إفراز من قناة البنكرياس حتى يتناول الحيوان طعامه ؛ وحينئذ فقط يبدأ الافراز بعد مدة قليلة لا تزيد عن خمسة دقائق من تناول الطعام ، ويستمر هذا الافراز حتى إذا مرت أول كمية من الكيموس الحمضى من فتحة البواب إلى الاثنى عشر ازداد كثيرا وبقى ساعتين أو ثلاث ساعات بعد تناول الطعام .

وقد كان معروفا لبافلوف أن وضع الطعام أو الأحماض بالفم يؤدى إلى استدرار اللعاب بوساطة فعل منعكس . وبطريق المقارنة اعتقد بافلوف أن وجود الكيموس الحمضى فى الاثنى عشر والأمعاء يؤثر فى أعصابها ويؤدى إلى استدرار افراز البنكرياس بوساطة أعصابه . وبعد ذلك وضع بافلوف حمضا فى الأمعاء ؛ وقد أدى ذاك إلى استدرار كبير لافراز البنكرياس بدون

تناول أى طعام . ثم نبه باڤلوف العصب الرئوى المعوى الذى يجهز البنكرياس وقد وجد أن ذلك يؤدى أيضا إلى إفراز عصير البنكرياس نتيجة لتنبيه خلاياه بالأعصاب التى تجهزها . فالافراز الذى يبدأ عند تناول الطعام عبارة عن فعل شرطى ؛ والافراز الذى يليه — لوجود الاحماض والطعام خصوصا الدهنيات فى الاثنى عشر والأمعاء — نتيجة لفعل منعكس .

فإذا ماعدنا الى ستارلنج وبايليس فى لندن تجدهما قد حرما الأمعاء كلّ اتصال عصبي بالجهاز العصبي الرئيسى ؛ ومع ذلك فان وجود الحمض فى الأمعاء يدعو فى تجاربهما إلى النتيجة التى وصل اليها بافلوف نفسها ؛ وهى إفراز كثير من البنكرياس . وعلى ذلك داخلهما شك كبير فى حقيقة أى فعل منعكس . وبما أن الوسيط الوحيد الذى يربط الامعاء بالبنكرياس بعد فصل أعصاب الأولى هو الدم ، فقد كان طبيعيا أن يفكرا فى أن الحمض الذى يوضع فى الامعاء يمتص فى الدم وينقل بواسطته الى البنكرياس فيؤدى الى إفرازه ، ولذلك حقنا الحمض مباشرة فى الدم ، ولكن لم يحصلا على أى نتيجة من ذلك . وقد كانت النتيجة المنطقية بعد ذلك أن يفكرا فى أن الحمض يؤثر فى الغشاء المخاطى ويجعله يفرز مادة تمر فى الدم وتذهب إلى البنكرياس ؛ وهنا استخرج ستارلنج وبايليس بعض الغشاء المخاطى للامعاء بمحاول ضعيف من حمض الكلوردريك . وبعد أن عادلا الحمض ورشحا السائل المتكون حقناه فى أحد شرايين الحيوان . وكم كانت دهشتهما وفرحهما عظيما عندما أدى ذلك إلى افراز كثير من البنكرياس . وقد سميا هذه المادة التى تفرزها الأمعاء من فعل الأحماض والدهنيات ومواد أخرى بالسكرتين (Secretin) أو الأفرازين ، نظر لعدم معرفتهما تركيبها الكيميائى . وبذلك أثبتا أن هناك طريقة — عدا الجهاز العصبي — تربط وظائف أعضاء الجسم بعضها ببعض ، وهى أن الدم قد يحمل مواد كيميائية تكوّن فى عضو مخصوص وتنقل بالدم الى أعضاء

اخرى ، وتؤثر فى وظيفتها . وقد أطلقنا على هذه المواد الكيميائية لقب الهرمونات أو المنبهات (Hormones) . وهنا بدأ بحث واسع أدى الى اكتشاف عمل كثير من الغدد الصماء ، أو عديمة القناة ، فى تنظيم وظائف أعضاء الجسم . وقد حضّر كثير من هذه المواد الكيميائية ، وتستعمل الآن فى علاج الأمراض المختلفة الناشئة من اختلال وظائف الغدد الصماء .

ولو رجعنا ثانيا إلى إفراز البنكرياس وأردنا أن نوفق بين تجارب باڤلوف وتجارب ستارلنج وبايليس لوجدنا التناقض ظاهراً إذ أن ستارلنج وبايليس قد حاولا تنبيه العصب الرئوى المعدى ولكنهما لم يحصلا على أى إفراز .

وفى ذلك الوقت ذهب أنرب (Anrep) — أستاذ علم وظائف الأعضاء بكلية الطب المصرية الآن والذى كان تلميذاً لباڤلوف — إلى لندن ، وهناك كرر تجارب باڤلوف أمام العالمين الإنكليزيين وأقنعهما بوجود الإفراز العصبى . وقد كان خطؤهما فى أنهما كانا ينبهان العصب مدة قليلة فى حين أن تاثير التنبيه لايظهر إلا بعد بضع دقائق ، وبذلك ثبت أن إفراز البنكرياس يتكون من قسمين :

أولا : قسم عصبى ، ويبدأ فى بضع دقائق بعد تناول الطعام ، وهو نتيجة لفعل شرطى .

ثانيا : قسم كيميائى يتلو ذلك ، ويكون نتيجة لوجود الحمض وبعض مواد الطعام كالدهنيات والصابون الذى يتكون منها فى الاثنى عشر والأمعاء ، إذ يسبب ذلك إفرازاً للإفرازين من الغشاء المخاطى للأمعاء وخصوصاً العليا منها . ويمتص هذا الافرازين بالدم إلى البنكرياس حيث يؤثر فى خلاياه ويستدر إفرازها .

والإفراز الذى ينتج من العصب الرئوى المعدى قليل وسميك ولكنه غنى جداً فى الخمائر . ويدعو التنبيه إلى اختفاء الحبوب التى بخلايا البنكرياس

والتى تكون الخمائر ؛ ولا يحصل إفراز مطلقاً نتيجة لتنبيه العصب إذا حقن الحيوان بمادة الأتروبين (atropine) .

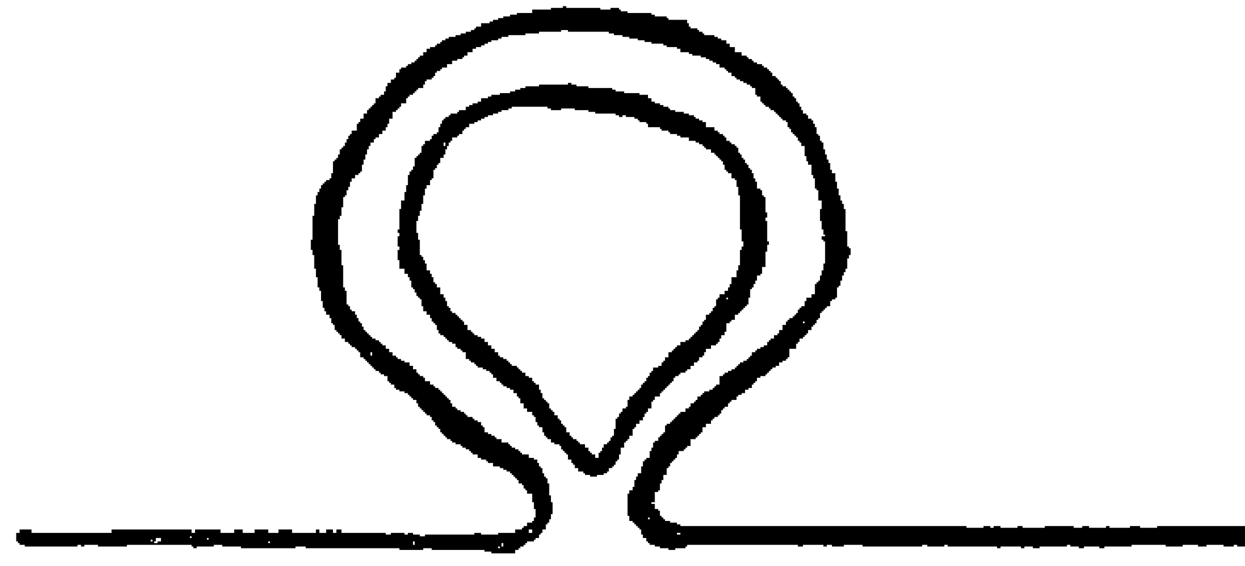
وأما الإفراز الكيميائى فهو غزير وأكثر سيولة وبه كميات كبيرة من بيكربونات الصوديوم. وإذا حقن الإفرازين بالحيوان أدى إلى الإفراز حتى بعد قطع أعصاب البنكرياس أو بعد حقن الحيوان بمادتى الأتروبين والارجوتوكسين (ergotoxine) مما يدل على أن تأثير الإفرازين فى الخلايا نفسها. وليس للأعصاب التى تجهز البنكرياس أو لنهاياتها (nerve endings) دخل فى الإفراز الكيميائى. ولا يصنع الإفرازين بخلايا الغشاء المخاطى وقت الطعام ولكنه يوجد بها قبل ذلك ، ويدعو وجود الحمض إلى إفرازه بالدم ويمكن استخراجه من الغشاء المخاطى بالكحول أو بالماء ، وليس بالأحماض فقط ويوجد الإفرازين كثيراً فى ثلثى الأمعاء الدقيقة العلويين ، ويوجد قليلا فى الثلث الأسفل وفى القولون الصاعد ؛ ولا يوجد مطلقاً بالغشاء المخاطى للمعدة . ويدعو الإفرازين إلى إفراز الصفراء بوساطة الكبد أيضاً . كما أن لأملاح الصفراء المقدرة على تنبية الغشاء المخاطى للأمعاء الدقيقة لإفراز الإفرازين . وقد حضر الإفرازين بدرجة نقية نوعاً ما ، وتركيبه الكيميائى ليس معروفاً تماماً ولكنه خال من الهيستامين . وهو يتلف بهضمه بالخميرتين ببسين وتربسين ، ولذلك لا يعمل إذا أعطى عن طريق الفم .

عصير الأمعاء الدقيقة

هو إفراز عدة غدد منتشرة فى كثرة فى الغشاء المخاطى ، وتفتح فى حفر أسطوانية صغيرة تسمى انخفاضات ليبركون (Crypts of Lieberkuhn) ويوجد فى الاثنى عشر غدد برونر (Brunner's glands) ، وهى تشبه غدد البواب فى المعدة من حيث تعرجها وتفرعها . وتفرز إفرازاً قاعدياً مخاطياً

له قدرة ضعيفة على هضم البروتينات . وعصير الأمعاء سائل قاعدى لوجود بيكربونات الصوديوم وكثافته ١٠١٠ ، وهو معتم لوجود مخاطين وخلايا من الغشاء المخاطى وكرات بيضاء به . ويمكن جمع عصير نقى من الحيوان بفصل قطعة من الأمعاء الدقيقة ووصل فتحتيها إلى الخارج ، ثم وصل نهايتى قطع باقى الأمعاء ببعضها ، كما هو واضح بشكل ٢٢ .





(شكل ٢٢)

ويختلف تركيب الافراز كثيراً : فتارة يكون مائياً وبه قليل من الخمائر الهضمية ، وتارة يكون سميكا وبه كثير من المخاطين . ويحتوى عصير الأمعاء على مساعد التربسين المعوى (Enterokinase) السابق ذكره . وعلى الخمائر الآتية :

١ — إريبسين (Erepsin) : ويحلل الأحماض الأمينية المركبة إلى أحماض أمينية ، ولا يمكنه أن يهضم البروتينات أو البروتيوزات أو البپتونات وأنسب عمل له عند الأس الايدروچينى ٨ .

٢ — ليبيز (Lipase) : ويمكنه أن يهضم بعضاً من الدهن الذى يؤخذ بالطعام فى حالة غياب عصير البنكرياس من الأمعاء الدقيقة . ويختلف عن ليبيز البنكرياس فى أن أملاح الصفراء لا تساعد عمله .

٣ — سكريز (Sucrase) : ويحلل ثنائى التسكر سكر القصب إلى جزىء من سكر العنب وجزىء من سكر الفواكه .

٤ — مالتيز (Maltase) : ويحلل ثنائى التسكر ملتوز إلى جزيئين من سكر العنب .

٥ — لاكتيز (Lactase) : ويحلل ثنائى التسكر سكر اللبن إلى جزىء من سكر العنب وجزىء من الجالاكتوز .

٦ — خمائر أخرى لتحليل الأحماض النووية .

كيفية إفراز عصير الأمعاء الدقيقة

لا تفرز الأمعاء فى الصيام إلا قليلا جداً وفى أوقات متباعدة ؛ وكذلك لا تفرز عند بدء تناول الطعام ولكنها تبدأ بالافراز عندما يصل إليها الطعام . وذلك لسببين :

أولا : **تنبيه ميكانيكى للغشاء المخاطى ينتج من وجود الطعام بالأمعاء** فمثلا إذا وضع فى قطعة الأمعاء المفصولة أنبوبة من المطاط لجمع الافراز أو جسم صلب أدى ذلك إلى إفراز الغشاء المخاطى . ولا يعتمد هذا الافراز الميكانيكى على اتصال الأمعاء بالجهاز العصبى الرئيسى ولكنه ينتج من فعل عصبي موضعى يكفى لحصوله وجود الشبكة العصبية الموجودة بين عضلات الأمعاء (Auerbach's plexus) فلا يحدث إذا خدرت هذه الشبكة بمحلول الأتروبين أو الكوكايين .

ثانياً : **تنبيه كيميائى للغشاء المخاطى ينتج من وجود الطعام بالأمعاء** كالدهن والصابون والبروتيوز ومائيات الكربون — وكذلك من وجود حامض الكلوردريك . ويقول باڤلوف إن وجود عصير البنكرياس فى الأمعاء من أكبر العوامل على استدرار إفرازها ، وبذلك نرى أن عصير البنكرياس نفسه يدعو الى إفراز عصير الأمعاء الذى يحتوى على المساعد اللازم لعمل خميرة البنكرياس المهمة ، أى التربسين .

وهذا التنبيه الكيميائي ينتج عن فعل عصبي موضعي كالتنبيه الميكانيكي . ويدعي البعض أن للافرازين المقدرة على استدرار إفراز الأمعاء الدقيقة كما يستدر إفراز البنكرياس والكبد — ولو أن هذه النقطة مشكوك في صحتها .

افراز المخاطين : يفرز المخاطين بوساطة الخلايا القدحية (Goblet Cells) الموجودة في خمل الأمعاء . وليس للاعصاب تأثير على إفراز المخاطين ولكنه ينتج من تنبيه الغشاء المخاطي كيميائيا أو ميكانيكيا . فمثلا يفرز المخاطين إذا وضع بالامعاء محلول نترات الفضة أو اليود أو أى مواد مهيجة ووظيفة المخاطين أنه يكسو الغشاء المخاطي للامعاء ويحفظه كما أنه يكسب محتويات الأمعاء لزوجة تسهل من حركتها .

إفراز الكبد

الكبد أكبر غدة في الجسم ؛ (شكل ٢٣) ولها وظائف كثيرة تجعلها أساسية للحياة وتقع على مجرى الدم الوارد من الأمعاء والذى يحمل نتائج



(شكل ٢٣)
قطاع ميكروسكوبي للكبد (عن شيفر)

هضم الطعام . وفى الكبد يجرى تحويل كبير لمواد الطعام سنتكلم عنه فيما بعد ؛ وأما الآن فسنذكر وظيفة الكبد من حيث إفراز الصفراء فقط .

تركيب الصفراء : تحتوى الصفراء ، كما تفرز من الكبد ، على ٩٧٫٥ ٪ من الماء ؛ وتفاعلها قاعدى وأسها الايدروچينى ٨ — ٨٫٦٠ ؛ وبها أملاح الصفراء جليكوكولات الصوديوم وتوروكولات الصوديوم (Sodium glycocholate and taurocholate) وأصباغ الصفراء بيليروبن وبيليفردين (Bilirubin & Biliverdin) وكوليسترول وليسيثن وأحماض دهنية ومخاطين وأملاح غير عضوية . ولبعض هذه المواد — كأملاح الصفراء — وظائف هامة فى عملية هضم الطعام وامتصاصه . وأما بعضها الآخر كأصباغ الصفراء فيفرز إلى الأمعاء فى طريقه إلى خارج الجسم مع البراز . من ذلك نرى أن الكبد يجب أن تفرز باستمرار لتنقى الدم من هذه الفضلات ؛ وفى الوقت نفسه يجب أن يصل الإفراز إلى الأمعاء فى الوقت المناسب — أى عند وجود الكيموس بها وتحصيلا لذلك وجدت المرارة التى يتجمع فيها افراز الكبد ولا يصل إلى الامعاء إلا عند عملية الهضم . وتركز الصفراء فى أثناء وجودها بالمرارة . وذلك لأن جدران المرارة تمتص الماء وبعض الأملاح ، فى حين تفرز كثيرا من المخاطين والكوليسترول وتصير الصفراء بعد تركيزها فى المرارة حامضية ولها الأس الايدروجينى من ٥ الى ٦ .

أملاح الصفراء : وهى جليكوكولات وتوروكولات الصوديوم . ويتكون حامض جليكوكوليك من اتحاد حامض كوليك مع جليسين . وأما حامض توروكوليك فيتكون من اتحاد حامض كوليك مع تورين . ولتركيب حامض كوليك الكيميائى علاقة بالكوليسترول . ولكن إذا أعطى الإنسان أو الحيوان كوليسترول لا يزيد من أملاح الصفراء . ويمكن للجسم أن يصنع أملاح الصفراء إذ أن أفرازها من ناصور صناعى يعمل فى قناة الصفراء

يستمر فى حالات الصيام المستمر مع أن الصفراء تترك الجسم إلى خارجه ولا تمتص ثانية ؛ ويتحد حامض كوليك مع جليسين أو تورين فى الكبد. ويستدل على ذلك بما يأتى :

١ — إذا ربطت قناة الصفراء فى الحيوان زادت أملاح الصفراء فى الدم ؛ ولكن لا يحدث ذلك إذا استؤصلت الكبد .

٢ — فى حالات إصابة الكبد المرضية يقل إفراز أملاح الصفراء كثيراً.

وبعد وصول أملاح الصفراء إلى الأمعاء الدقيقة تمتص ثانية وتذهب إلى الكبد لتفرز مرة أخرى . وإذا أعطى حيوان أملاح الصفراء أمكن الحصول عليها كمياً من ناصور صناعى فى قناة الصفراء ، مما يدل على امتصاصها وإفرازها ثانية بالكبد . ويحتوى دم الانسان على ٢,٥ — ٦ مجم من أملاح الصفراء فى كل ١٠٠ سم^{٣} ؛ وتتضاعف هذه الكمية فى حالات مرض الصفراء المتسبب من سد القنوات الصفراوية .

أصباغ الصفراء : وهى بيليروبين وبيليفردين . ويكثر البيليروبين فى صفراء الإنسان وآكلات اللحوم . وتحتوى صفراء الطيور على بيليفردين فقط . ومصدر أصباغ الصفراء هو هيموجلوبين الدم الذى يتحلل مائياً أولا إلى جلوبين وهيم ثم يفقد الهيم الحديد ويتبقى بورفرين الذى يتحول إلى بيليروبين وبأكسدة البيليروبين ينتج البيليفردين .

وقد كان يظن أولا أن أصباغ الصفراء لا تتكون إلا فى الكبد ؛ ولكن ظهرت أدلة كثيرة أثبتت أن أصباغ الصفراء تتكون فى كل خلايا الجهاز الشبكى الاندوثليومى (Reticulo Endothelial System) وعلى ذلك فهى تتكون فى خلايا كوبفر (Kupfer) فى الكبد ، وفى الخلايا الأميبية فى الطحال ، وفى نخاع العظام والغدد الليمفاوية والأنسجة الضامة . ويثبت ذلك ما يأتى :

أولا : كمية أصباغ الصفراء فى دم الطحال الوريدى أكبر منها فى الدم الشريانى .

ثانيا : زرعت خلايا من الجهاز الشبكى الاندوثليومى مع كرات دم حمراء فى أوساط خاصة ، ووجد أن الخلايا الشبكية الاندوثليومية تبتلع كرات الدم الحمراء وتكون بداخلها الحديد والبيليروبين .

ثالثا : أمكن استئصال الكبد من الكلاب وبقائها حية عدة ساعات بوساطة حقنها فى الوريد بمحلول سكر العنب حتى لا تموت من نقص سكر الدم . وقد وجد أن كمية أصباغ الصفراء تزداد باستمرار فى الدم حتى الوفاة.

ويوجد فى دم الانسان من ٠,١ — ٠,٥ مجم من أصباغ الصفراء فى كل ١٠٠ سم٣ من البلازما . وفى الأمعاء يختزل البيليروبين والبيلفردين بوساطة تعفن بكتريولوجى الى يوروبيلينوجين (Uirobilinogen) الذى يظهر جزء منه فى البراز على شكل ستركوبيلين (Stercobilin) بعد أن يتأكسد فى الهواء ويمتص جزء منه ليفرز بالبول ويتأكسد بالبول الى يوروبيلين (Urobilin) بعد إفرازه .

الكوليسترول (Cholesterol) : توجد مقادير كبيرة منه فى الصفراء . وتساعد على ذوبان أملاح الصفراء ونسبة $\frac{\text{كوليسترول}}{\text{أملاح الصفراء}}$ الطبيعية هى من $\frac{١}{٢٠}$ — $\frac{١}{٣٠}$ واذا زادت هذه النسبة الى $\frac{١}{١٣}$ ترسب الكوليسترول . ولهذه الحقيقة أهمية فى أسباب تكوين الحصى فى المرارة والقنوات الصفراوية .

وظائف الصفراء

فضلا عن أن الصفراء هى طريق إفراز أصباغ الصفراء الى خارج الجسم فان لأملاح الصفراء وظائف هامة فى الأمعاء وهى :

١ — هضم الدهن وذلك كما سبق أن ذكرنا (صفحة ٨٦) لأن أملاح الصفراء تساعد على تكوين مستحلب للدهن فى الماء إذا كان الوسط قاعديا كما تساعد عمل ليبيز البنكرياس حتى فى حالة ما إذا كان الدهن يذوب فى الماء .

٢ — امتصاص الدهن : إذا ربطت قناة الصفراء فى حيوان مر معظم الدهن الذى يؤخذ فى الطعام مع البراز على شكل أحماض دهنية ، مما يدل على أن عملية الهضم أمكنها أن تتم بدون أملاح الصفراء فى حين لم تتم عملية الامتصاص — وهذا يثبت أن أملاح الصفراء أكثر أهمية لعملية امتصاص الدهن من عملية هضمها ويظن أن أملاح الصفراء تتحد مع الأحماض الدهنية وأن الأحماض الدهنية تمر من داخل القناة الهضمية الى الخلايا المبطنة لغشاء الامعاء المخاطى متحدة مع أملاح الصفراء .

٣ — تذيب أملاح الصفراء الكوليسترول والأرجوستيرول وڤيتامين د وبذا تساعد على امتصاص هذه المواد . وإذا عملت فتحة صناعية فى قناة الصفراء تفتح إلى الخارج وتمنع وصول الصفراء إلى الأمعاء الدقيقة قلت كمية أملاح الكالسيوم فى الجسم وظهرت أعراض نقص ڤيتامين د ؛ ولكن إذا حقن ڤيتامين د أو إذا أعطى عن طريق الفم مع أملاح الصفراء لا يحدث ذلك .

٤ — إذا منعت أملاح الصفراء من القناة الهضمية وبقى الدهن بلا هضم ولا امتصاص أدى ذلك إلى وجود طبقة دهنية حول جزيئات البروتينات الموجودة فى الطعام ، وبذا تحميها من أن تهضم بخمائر البروتينات وتصبح وسطا صالحا لنمو الجراثيم وللتعفن المعوى .

٥ — وكذلك يقال أن أملاح الصفراء تنبه حركات الامعاء ؛ ولكن ربما كانت هذه الوظيفة أيضاً ناتجة من مساعدتها لهضم الدهون وامتصاصها ، وبذا تمنع تأثير الدهن الرادع لحركات الامعاء .

٦ — ثبت حديثا أنها ضرورية جدا لامتصاص ڤيتامين ك (K) وقد ادعى بعض العلماء أن ڤيتامين ك هو أملاح الصفراء .

كيفية إفراز عصير الصفراء

تفرز الكبد باستمرار ؛ ويتجمع هذا الافراز فى المرارة ولا يصب فى الاثنى عشر إلا عند ما يتناول الانسان الطعام . ويبدأ مرور الصفراء إلى الاثنى عشر بسرعة بعد تناول الطعام ؛ ويستمر بضع ساعات بعد ذلك ويبلغ الإفراز قمته حوالى الساعة الثالثة بعد تناول الطعام . أما الطرق والأسباب التى تؤدى إلى مرور الصفراء إلى الاثنى عشر فهى :

أولا : تجهز المرارة بألياف من العصب الرئوى المعدى ، ومن العصب السمپاثوى . فاذا نبه الأول انقبضت المرارة وارتخت العضلة العاصرة التى عند فتحة قناة الصفراء (Sphincter of Oddi) . وأما إذا نبه الثانى فان جدران المرارة ترتخى . ويظن أن بداءة مرور الصفراء إلى الاثنى عشر ينتج من فعل شرطى يدعو إلى مرور إشارات عصبية فى العصب الرئوى المعدى تقبض المرارة وتقذف محتوياتها إلى الاثنى عشر .

ثانيا : وجود الطعام وخصوصاً الدهن وزلال البيض فى الاثنى عشر يؤدى إلى إفراز هرمون بوساطة الغشاء المخاطى للأمعاء يمر فى الدم إلى المرارة ويسبب انقباضها فتقذف محتوياتها إلى الاثنى عشر . وقد سمى هذا الهرمون كوليسستوكينين (Cholecystokinin) . أى محرك المرارة . وقد استخرج ايفى (Ivy) هذا الهرمون من الغشاء المخاطى للأمعاء ؛ ووجد أنه يقبض المرارة إذا حقن فى الدم . كما وجد ايفى أيضاً أنه إذا أخذ دم حيوان وقت هضم الدهن وحقن فى حيوان آخر صائم أدى إلى انقباض مرارته ، وأما إذا حقن دم من حيوان صائم فلا يؤدى ذلك إلى انقباض مرارة الحيوان الآخر.

وفضلا عن مرور الصفراء المتجمعة فى المرارة إلى الاثنى عشر فان الكبد تكثر من افراز الصفراء وقت هضم الطعام ، وذلك لأن :

أولا : يؤثر الهرمون سكرتين على الكبد فيزيد من إفرازها كما يزيد من إفراز البنكرياس .

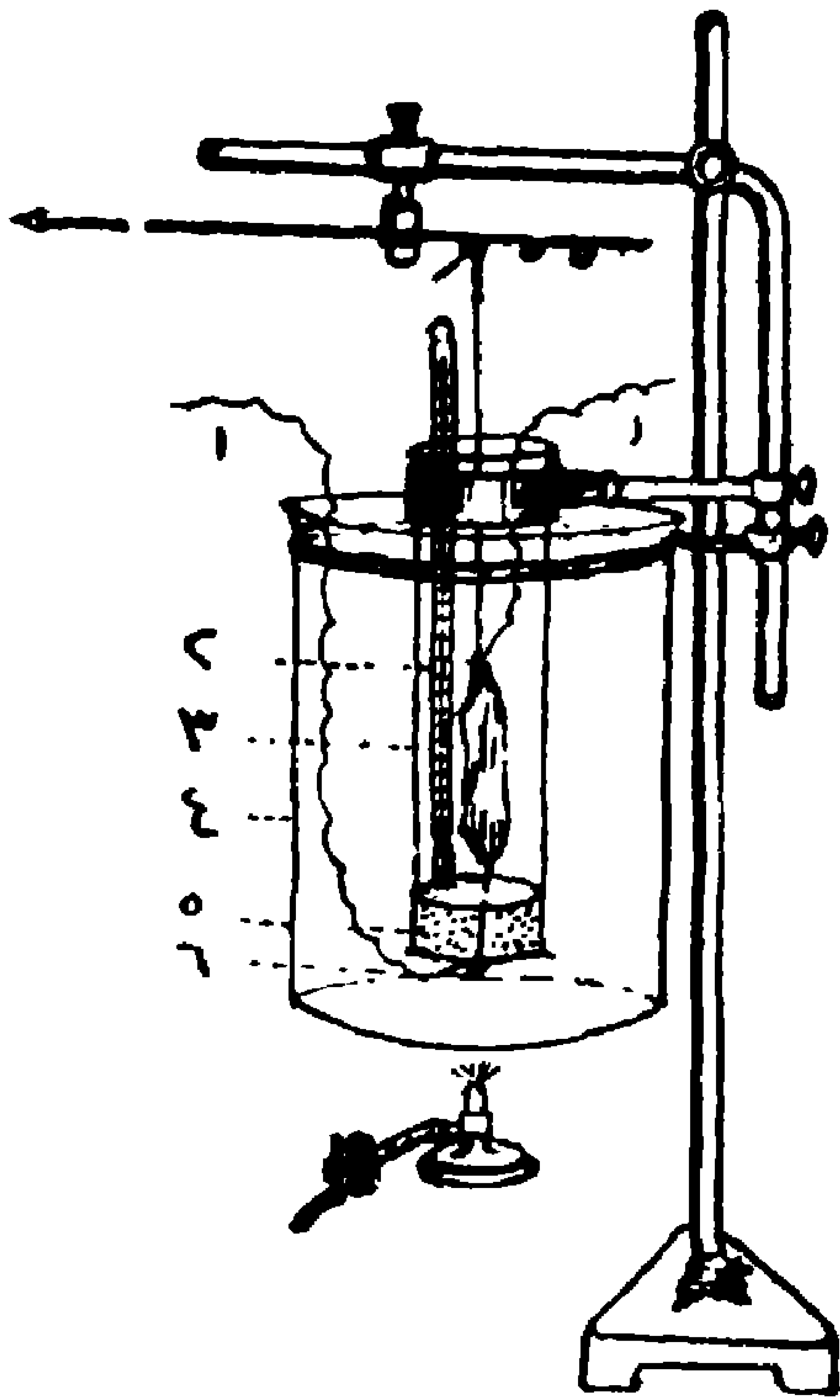
ثانيا : تدعو أملاح الصفراء إلى زيادة كبيرة فى إفراز الكبد . فهى أكثر المواد استدراراً للصفراء . وقد رأينا أن أملاح الصفراء تمتص ثانية بعد مرورها إلى الاثنى عشر . فاذا ما وصلت إلى الكبد نبهت الإفراز ؛ وإذا أعطيت كمية من أملاح الصفراء إلى شخص أدت إلى إفراز كثير من الكبد يستمر يوماً أو يومين .

الباب الثامن

حركات الأمعاء الدقيقة

يمكن دراسة حركات الأمعاء الدقيقة باحدى الطرق الآتية :

١ — تفصل قطعة منها خارج الجسم وتعلق فى حمام محلول ملح فاتر (درجة حرارة ٣٧) ، وتثبت نهايتها فى رافعة خفيفة ترسم الانقباضات (كما فى شكل ٢٤) . ويحتوى المحلول الملحى على أيونات الكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والمغنسيوم بالنسب الموجودة فى البلازما ويسمى محلول تيرود (Tyrodes Solution)



(شكل ٢٤)

(عن حمودة ــ الفسيولوجيا التجريبية)

١ — اسلاك معدنية يمكن بوساطتها تنبيه قطعة الأمعاء كهربائيا

٢ — ترمومتر

٣ — اسطوانة زجاجية تعلق بها قطعة الأمعاء وتحتوى على محلول تيرود

٤ — إناء زجاجى به ماء فاتر

٥ — قطعة من الفلين تسد الاسطوانة ٣

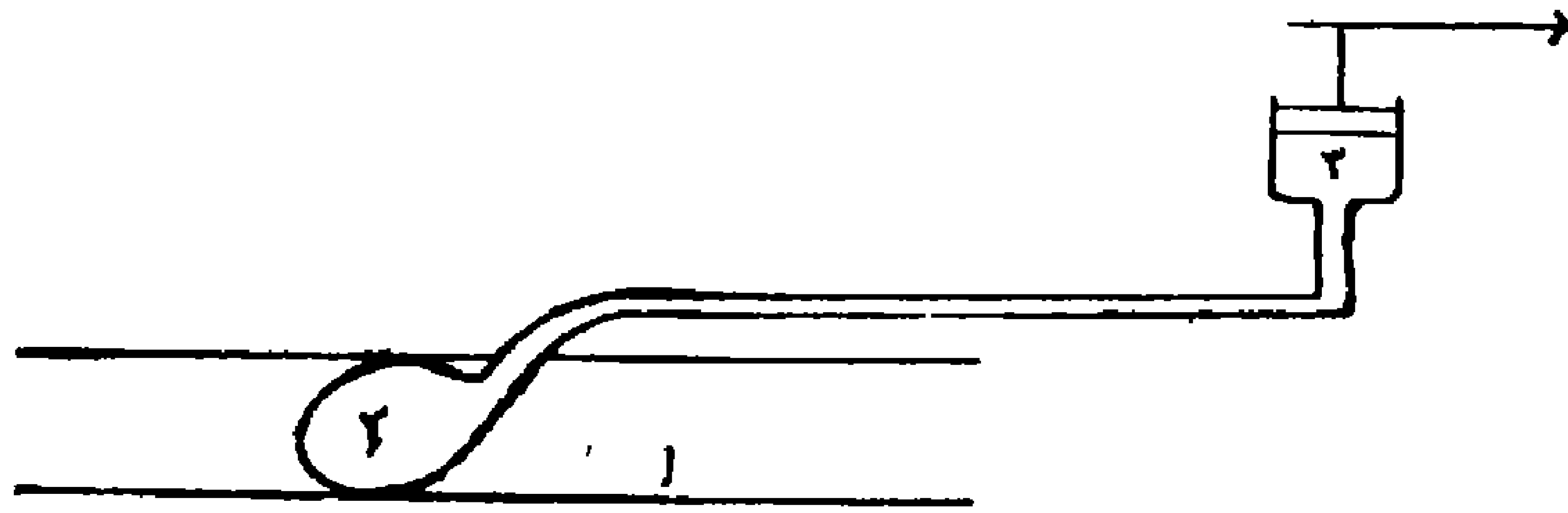
٦ — خطاف معدنى تشبك به قطعة الأمعاء والسلك الكهربائى

٢ — يوضع بداخل الأمعاء بالون صغير متصل بمقياس حجم (كما فى شكل٢٥) فاذا انقبضت الأمعاء ضغطت على الهواء الموجود بالبالون ، ورفع ذلك غطاء مقياس الحجم ، ورسمت الريشة المثبتة عليه حركة الأمعاء — وتنخفض الريشة عند ارتخاء جدران الأمعاء

٣ — تفتح البطن فى حوض به محلول ملح الطعام ٠٫٩ ٪ ودرجة حرارته ٣٧ مئوية ؛ وتلاحظ الحركات بالعين

المجردة وأما إذا تركت الأمعاء لتجف أو تبرد فان حركتها تبطل .

٤ — وأحسن طريقة لدراسة حركات الأمعاء هى ملاحظتها بواسطة أشعة رونتجن بعد إعطاء الشخص أو الحيوان طعاما مخلوطا به كبريتات الباريوم .



(شكل ٢٥)

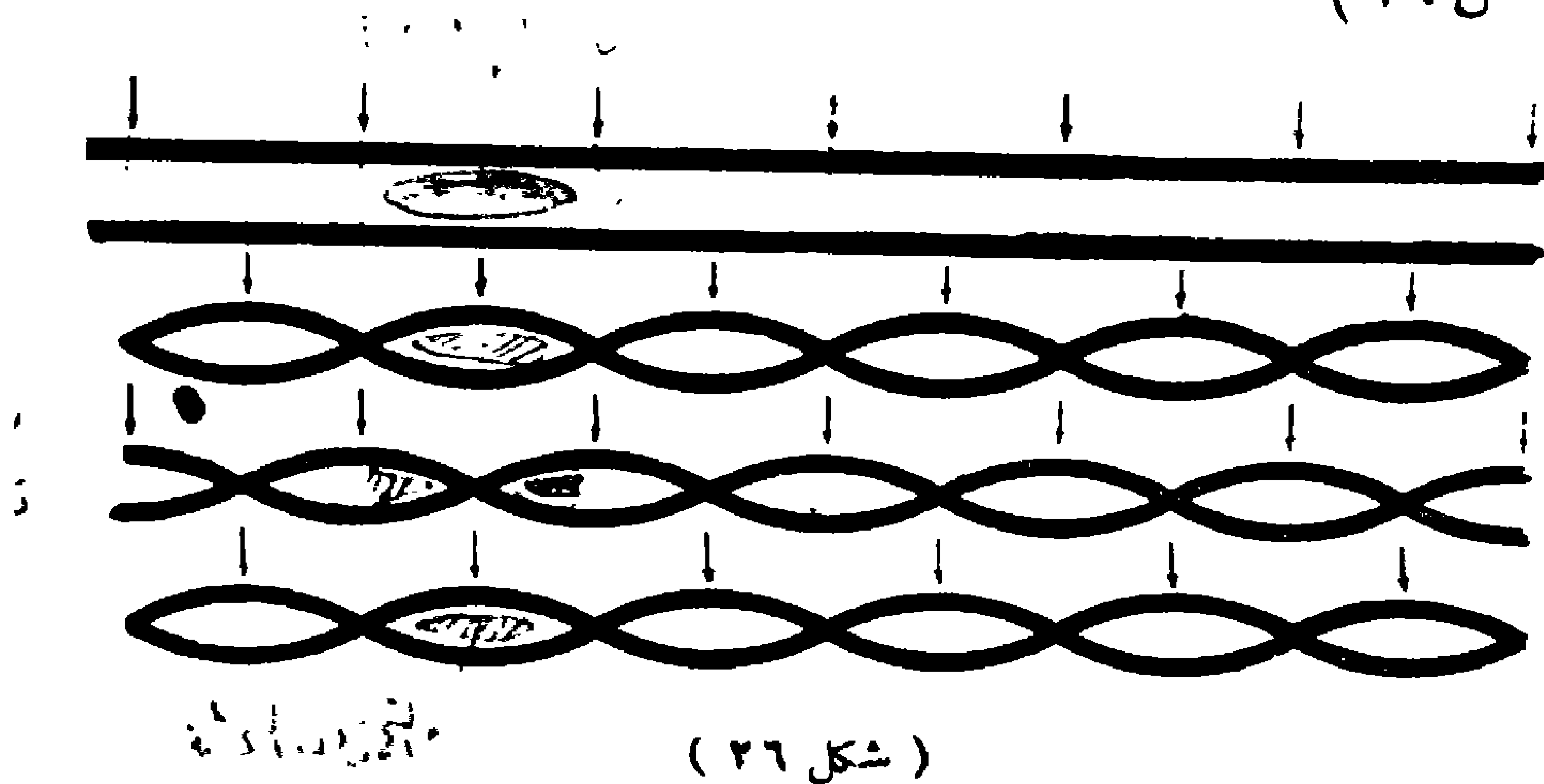
١ — قطعة الأمعاء ٢ — بالون ٣ — مقياس حجم

توجد ثلاثة أنواع من الحركات :

أولا : **الحركات الدودية** (Peristaltic) . وهى عبارة عن موجات انقباضية مسبوقة بموجات ارتخائية . وهى تحدث نتيجة لوجود الطعام بالأمعاء ، وتسبب تقدمه نحو الأمعاء الغليظة . فإذا نبه جزء من الأمعاء الدقيقة ميكانيكياً أدى ذلك إلى انقباض فى الجزء الذى يعلوه وارتخاء فى الجزء الذى تحته . ويسبب وجود الطعام فى الأمعاء هذا التنبيه الميكانيكى . وتستمر هذه الحركات الدودية بعد قطع جميع الأعصاب التى تربط الأمعاء بالجهاز العصبى الرئيسى ، ولكنها تعتمد على الشبكة العصبية الموجودة بين عضلات الأمعاء ، إذ تختفى عند تخدير الأمعاء بمحلول الكوكايين أو الأتروبين أو النيكوتين . وتعتبر هذه الحركات الدودية ناتجة من فعل عصبى موضعى (axon reflex) فوجود الطعام بالأمعاء ينبه نهايات الأعصاب فى الغشاء المخاطى . ويتسبب عن هذا التنبيه مرور إشارات عصبية إلى جزء الأمعاء الموجود ناحية المعدة فينقبض . وإلى الجزء الذى تحت الطعام ناحية الأمعاء الغليظة فيرتخى . وتمر الموجات الدودية بسرعة سنتيمترين فى الدقيقة ؛ ولكن

قد تكون أسرع من ذلك كثيراً بحيث تقطع جميع طول الأمعاء الدقيقة فى دقيقة واحدة . ولا تحصل حركات دودية عكسية فى الأمعاء الدقيقة يكون نتيجتها تحرك الطعام نحو المعدة إلا فى الاثنى عشر الذى يختلف عن باقى الأمعاء الدقيقة من هذه الوجهة ، إذ ينتج عن وجود هذه الحركات الدودية العكسية بالاثنى عشر تحرك الطعام تارة بعيداً عن المعدة وتارة نحوها — وبذلك يمتزج جيداً بعصيرى البنكرياس والصفراء اللذين يصبان فى الاثنى عشر .

ثانياً : **الحركات المجزئة** (Segmenting) — وهى أهم الحركات المعوية وأكثرها دواماً وانتظاماً . وتكون أكثرها وقوعا فى المعى الصائم (Jejunum) منها فى المعى اللفائفى (Ileum) ، حيث تحدث نحو ١٢ مرة فى الدقيقة . وهذه الحركات عبارة عن جملة انقباضات تحصل فى وقت واحد فى جدران الامعاء ، فتجزىء محتوياتها إلى أقسام متساوية صغيرة وبعد ثوان قليلة تنقبض جدران الامعاء عند منتصف هذه الاقسام بحيث ينقسم كل منها إلى جزءين ، وفى الوقت نفسه ترتخى الانقباضات الاولى وبذلك تمتزج محتويات كل نصفين متجاورين . وتتكرر هذه العملية فى الاقسام الجديدة كما هو مبين فى (شكل ٢٦)



(شكل ٢٦)

وتسبب هذه الحركات امتزاج الطعام بالخمائر امتزاجاً تاماً يساعد على هضم الطعام كثيراً . وفضلا عن ذلك تجعل هذه الحركات كل محتويات

الامعاء معرضة للغشاء المخاطى ، وبذلك يسهل امتصاص ما تم هضمه منها ولا ينتج من هذه الحركات أى تقدم للطعام نحو الأمعاء الغليظة ولا تعتمد هذه الحركات الجزئية على الأعصاب بأى حال من الأحوال ، سواء كانت الأعصاب الخارجية التى تربطها بالجهاز العصبى الرئيسى أو الشبكة العصبية الموضعية الموجودة بين عضلات الأمعاء إذ تستمر هذه الحركات بعد قطع جميع الأعصاب التى تجهز الأمعاء وبعد تخدير الشبكة العصبية الموضعية بوساطة النيكوتين أو الكوكاين .

ثالثا : **الحركات البندولية** (Pendular) ولا تعرف أهميتها بالضبط ولكنها ترى إذا فتحت البطن . وهى عبارة عن حركات أجزاء طويلة من الأمعاء تتحرك ذات اليمين وذات اليسار .

وفضلا عن هذه الحركات التى ترى بالعين المجردة هناك حركات أخرى ترى تحت الميكروسكوب ، وهى حركات خمائل الغشاء المخاطى (Intestinal Villi) . فهذه ترى تحت الميكروسكوب ، متحركة دائما أبداً فى كل الجهات وتارة تطول الخمائل وتارة تقصر . ولحركات الخمائل أهمية عظيمة فى مساعدة امتصاص الأطعمة . وينبه حركات الخمائل هرمون يسمى ڤيلليكينين (Villi Kinin) أى محرك الخمائل : وهو يفرز بوساطة الغشاء المخاطى للامعاء نتيجة لوجود بعض نتائج هضم الطعام وخصوصا الأحماض الأمينية .

أعصاب الأمعاء : ولو أن حركات الأمعاء تستمر بعد قطع جميع الأعصاب التى تربطها بالجهاز العصبى الرئيسى إلا أن لهذه الاعصاب المقدرة على التأثير فى حركات الأمعاء فلو نبه العصب الرئوى المعوى ازداد النشاط العضلى للامعاء وكثرت حركاتها عددا وقوة . وأما إذا نبهت الأعصاب السمپاثوية الموجودة بالعصب الحشوى (Splanchnic) فإن الأمعاء ترتخى وتختفى الحركات المعوية كلها .

العضلة العاصرة اللفائفية القولونية : (Ileo colic sphincter) وهى عبارة عن تضخم الطبقة المستديرة لعضلات الأمعاء بين المعى اللفائفى والمعى الأعور . وتعمل على شكل صمام يمنع رجوع محتويات المعى الأعور إلى المعى اللفائفى . وترتخى هذه العضلة أمام الضغط الناشىء عن حركات الأمعاء الدقيقة ، فتمر المحتويات إلى المعى الأعور . وليس للعصب الرئوى المعدى تأثير فى هذه العضلة ، ولكنها تنقبض عند تنبيه العصب السمبائوى فتقفل ما بين الأمعاء الغليظة والدقيقة إقفالا محكما .

الباب التاسع

وظائف الامعاء الغليظة

تختلف وظائف الامعاء الغليظة على حسب طبيعة الطعام الذى يتغذى به الحيوان . ففى الحيوانات آكلة اللحوم (Carnivorous) نجد أن الامعاء الغليظة قصيرة وقليلة الفائدة من وجهة هضم الطعام إذ أنه لا يصلها شىء يذكر من المواد الغذائية التى تمتص كلها تقريبا فى الامعاء الدقيقة ، وأما فى الحيوانات آكلة الأعشاب فنجد الامعاء الغليظة طويلة ولها فائدة كبيرة إذ توجد معظم المواد الغذائية النباتية داخل أغشية الخلايا المكونة من الخليور (Cellulose) . وليس للخمائر التى درسناها للآن أية مقدرة على هضمه ، وعلى ذلك يصل مقدار كبير من الغذاء الى الامعاء الغليظة ، حيث يتحلل الخليوز بوساطة البكتريا الموجودة فى كثرة ، وكذلك بوساطة الخميرة (Cytase) الموجودة بداخل الخلايا النباتية نفسها . وتقل فائدة الأمعاء الغليظة فى الحيوانات آكلة الأعشاب المجترة ؛ إذ أن الكرش أو المعدة الأولى بها تقوم بوظيفة تحليل الخليوز (انظر ص٨٣) . وتكون الأمعاء الغليظة فى الانسان وسطا بينها فى الحيوانات آكلة الأعشاب وفى الحيوانات آكلة اللحوم من حيث حجمها وفائدتها . وأما فوائد الأمعاء الغليظة فهى :

أولا : هضم الخليوز — وفائدة ذلك عظيمة عند ما يتكون جزء كبير من الطعام من المواد النباتية كالفواكه والخضروات والحبوب .

ثانياً : امتصاص جزء كبير من الماء الذى يصلها من المعى اللفائفى مع بقايا الطعام والافرازات — فقد وجد أنه يمر من الصمام اللفائفى القولونى نحو ٥٠٠ سم^3 من الماء يومياً ، يمتص منها فى الأمعاء الغليظة ٤٠٠ سم^3 تقريباً والباقى يخرج مع البراز .

ثالثاً : امتصاص بعض نتائج هضم الطعام التى لم يسمح الوقت بامتصاصها فى الأمعاء الدقيقة — فالأمعاء الغليظة المقـــدرة على امتصاص الجلوكوز والأحماض الأمينية ولو أن سرعة الامتصاص أقل كثيراً منها فى الأمعاء الدقيقة . وتستعمل هذه الفائدة طبياً فى إعطاء حقن شرجية مغذية للمرضى الذين لا يمكن إعطاؤهم شيئاً عن طريق الفم لسبب من الأسباب .

رابعاً : إخراج بعض المواد — كالكالسيوم والمغنسيوم والزئبق والحديد . وأما أملاح الكالسيوم فيخرج جزء منها فى البول والجزء الآخر فى البراز . فاذا كان هناك كثير من الفوسفات كثرت نسبة أملاح الكالسيوم فى البراز حيث تظهر كفسفات الكالسيوم الغير القابلة للذوبان . وبعكس ذلك إذا تكونت أحماض كثيرة فى الجسم زادت نسبة أملاح الكالسيوم فى البول وقلت فى البراز . ففى الحيوانات الآكلة الأعشاب يفرز بالبول ٥ ٪ فقط من أملاح الكالسيوم ؛ إذ أن الغذاء النباتى يزيد القواعد بالجسم . وتزيد هذه النسبة فى الحيوانات آكلة اللحوم إلى ٢٥ — ٣٠ ٪ إذ أن الغذاء الحيوانى يكون كثيراً من الأحماض (أنظر باب تفاعل الدم بالجزء الثانى) . ويتبع المغنسيوم فى إخراجه من الجسم الطريقة التى يتبعها الكالسيوم نفسها . ويخرج معظم الحديد فى الأمعاء الغليظة ويظهر فى البراز ككبريتيد الحديد .

خامساً : تكوين البراز وخزنه حتى يقذف إلى الخارج بعملية التبرز فى الوقت المناسب .

حركات الأمعاء الغليظة

تجهز الأمعاء الغليظة بنوعين من الألياف العصبية : أولها من الأعصاب الباراسمبائوية ، ويسمى بالعصب الحوضى نظراً لأنه يجهز معظم أعضاء الحوض . وإذا نبه هذا العصب ازدادت حركات الأمعاء الغليظة والمستقيم وارتخت عضلة الشرج العاصرة الداخلية (Internal anal sphincter) ، وهى

عضلة غير إرادية تتكون من تضخم طبقة العضلات الدائرية فى جدار الأمعاء وثانيهما من الأعصاب السمپاثوية ؛ وإذا نبه ارتخت عضلات الأمعاء الغليظة وبطلت حركاتها وزاد النشاط العضلى فى العضلة العاصرة الداخلية للشرج . وتنتهى هذه الأعصاب فى شبكة عصبية (Aurbach's plexus) توجد بين عضلات جدران الأمعاء .

بعد ساعتين تقريباً من تناول الانسان الطعام يبدأ القولون فى الامتلاء إذ أنه كلما وصلت إحدى الموجات الدودية للأمعاء الدقيقة إلى آخر المعى اللفائفى ترتخى العضلة اللفائفية القولونية أمامها . وتمر بعض محتويات المعى اللفائفى إلى المعى الأعور ، ويستمر هذا المعى فى الامتلاء . وقد تفرغ الأمعاء الدقيقة كل محتوياتها فى الأمعاء الغليظة فى مدة تتراوح بين ست ساعات وسبع . ومن البدهى أن هذه المدة تتغير بحسب نوع الطعام وكميته ، كما أنها تختلف من شخص إلى آخر . وأما ما يصل إلى الأمعاء الغليظة فهو سائل يحتوى على بقايا الطعام التى لم يمكن هضمها وامتصاصها فى الأمعاء الدقيقة . وكذلك يصل إلى الأمعاء الغليظة بقايا إفرازات الغدد الهضمية المختلفة .

ينتج عن تمدد المعى الأعور بهذا السائل موجات انقباضية تدفع محتوياته ناحية القولون الصاعد . فاذا ما وصلت إلى الانحناء الكبدى للأمعاء الغليظة — أى إلى ملتقى القولون الصاعد بالقولون المستعرض — بدأت موجات انقباضية دودية عكسية تدفع المحتويات مرة أخرى ناحية المعى الأعور ؛ ولا ترجع المحتويات إلى المعى اللفائفى لبقاء العضلة اللفائفية القولونية مقفلة وتستمر هذه الحركات الدودية والدودية العكسية حتى يمتص جزء كبير من الماء ثم يبدأ القولون المستعرض فى الامتلاء وتصبح المحتويات أكثر جفافاً عند وصولها إلى الانحناء الطحالى . وبين حين وآخر تدفع هذه المحتويات الجافة بوساطة حركات دودية إلى القولون النازل ، فقولون الحوض الذى يمتلىء من أسفل إلى أعلى . وتمتص جدران قولون الحوض كثيراً من

الماء الموجود بمحتوياتها ، وما تبقى به يكوّن البراز . ويبقى المستقيم خالياً من البراز حتى ما قبل عملية التبرز .

وقد شوهدت حركات الأمعاء الغليظة فى الانسان بعد إعطائه أملاح الباريوم . وقد وجد أن الحركات الدودية والدودية العكسية قليلة . وأهم الحركات هى حركات دودية كلية (mass perstalsis) تمر بطول الأمعاء الغليظة وتقذف ما بها إلى قولون الحوض وهذه الحركات تحدث ثلاث مرات أو أربع مرات فى اليوم فقط . وقد تسبب من تناول الطعام ؛ وتنتج من فعل منعكس يسمى الفعل المنعكس المعدى القولونى (gastro colic reflex)

٣ التـــبرز (Defaecation)

هو العملية التى بوساطتها تقذف محتويات الأمعاء الغليظة إلى الخارج فى ظروف مناسبة . ولو أن حركات الجزء الأعلى من الأمعاء الغليظة لا تعتمد إلا على الشبكة العصبية الموجودة بجدارها وتستمر بعد قطع كل اتصال بينها وبين الجهاز العصبى الرئيسى ، إلا أن حركات الجزء الأسفل من الأمعاء الغليظة التى تختص بعملية التبرز تعتمد كل الاعتماد على سلامة العصب الحوضى الذى يربطها بالجزء العجزى من النخاع الشوكى . فلو قطع العصبان الحوضيان — الأيمن والأيسر — أو أتلف الجزء العجزى من النخاع الشوكى — شلت حركات الجزء الأسفل من الامعاء الغليظة والمستقيم . وأما إذا نبه هذان العصبان فان جميع العضلات التى فى جدران الجزء الأسفل من الأمعاء الغليظة والمستقيم تنقبض بينما ترتخى العضلة العاصرة الداخلية للشرج

ففى الحالات الطبعية يسبب تناول طعام الافطار الفعل المنعكس المعدى القولونى ، ويؤدى هذا الفعل إلى موجات انقباضية سريعة فى الأمعاء تصل إلى أسفل القولون ، وتدفع البراز المتجمع فى قولون الحوض إلى المستقيم . وينتج عن هذا التمدد الفجائى للمستقيم فعل منعكس مركزه العصبى فى الجزء

العجزى من النخاع الشوكى ويؤدى إلى انقباض العضلات الجدارية للجزء الأسفل من الأمعاء الغليظة والمستقيم ، وارتخاء عضلتى الشرج العاصرتين الداخلية الغير الارادية والخارجيـــة الارادية . وتمر إشارات هذا الفعل المنعكس فى العصب الحوضى الى العضلات الغير الارادية وفى العصب الحيائى (pudendal) إلى العضلة العاصرة الخارجية للشرج ، وهذه العضلة إرادية . ويصحب حركات الأمعاء الغير الارادية حركات أخرى إرادية تساعد عملية التبرز ، فتنقبض عضلة الحجاب الحاجز وعضلات جدران البطن فى حين تقفل فتحة المزمار — وبذلك يزداد الضغط داخل البطن ، مما يساعد على دفع البراز إلى الخارج . وتنقبض العضلات التى فى قاع الحوض وبذا تدعم قاع الحوض ضد زيادة الضغط داخل البطن . ولانقباض العضلات الارادية التى فى قاع الحوض ، كعضلة الشرج الرافعة (levator ani) ، فى أواخر عملية التبرز فائدة أخرى إذ تعصر المستقيم وتقذف ما به من أى بقايا للبراز

مما تقدم نرى أن عمليـة التبرز تتوقف على أفعال منعكسة كما تتوقف على أفعال إرادية لاتمامها . ويمكن منع حدوثها بوساطة الإرادة عنـد امتلاء المستقيم بالبراز بوساطة انقباض العضلة العاصرة الخارجية للشرج وعضلات قاع الحوض . ويحدث ذلك إذا امتلأ المستقيم فى أوقات غير مناسبة لعملية التبرز . ويتسبب من انقباض هذه العضلات الارادية أفعال منعكسة تؤدى إلى ردع حركات الأمعاء الغليظة .

البراز (The foeces)

يشتق البراز من مصدرين — خارجى وداخلى — فالمصدر الخارجى هو ما يتبقى من الطعام بعد هضمه وامتصاصه ويتكون معظم هذا الجزء من الخليوز . والمصدر الداخلى هو ما ينتج من القناة الهضمية نفسها ويتكون من بقايا إفرازات القناة الهضمية والصفراء التى لم تمتص ثانية ومن خلايا دموية

بيضاء وخلايا الغشاء المخاطى للقناة الهضمية وكثير من الجراثيم التى تكون ٩ ٪ من مواد البراز الصلبة

ولا ينتج معظم البراز — كما يظن لأول وهلة — من بقايا الطعام . إذ أن معظم البروتينات والدهون ومائيات الكربون تمتص فى الأمعاء وفى الأحوال الطبيعية لا يتبقى شىء منها ليخرج بالبراز اللهم إلا ماهو ليس قابلا للهضم كالخليوز . ويزيد الخليوز كمية البراز لأنه . أولا لا يهضم ولا يمتص بل يخرج بالبراز . وثانيا ينبه إفرازات القناة الهضمية فيزيد من المصدر الثانى للبراز

ولو استثنينا الخليوز من الطعام أو لو جعلنا كميته ثابتة كان تركيب البراز ثابتا ولا يتأثر بتغيير نوع الطعام . ويستمر افراز البراز فى حالة الصيام التام ويكون تركيبه مماثلا لتركيب البراز الطبيعى ولو أن كميته تقل نظرا لأن الطعام ينبه افرازات القناة الهضمية .

وتفاعل البراز الطبيعى متعادل أو يميل قليلا إلى الحموضة أو إلى القاعدية ويفرز ببراز الانسان يوميا من نصف جرام إلى جرام من الأزوت ويختلف الدهن الذى به كيمائيا عن دهن الطعام العادى ولكنه يماثل الدهن الموجود بالدم ويتكون معظمه من الليسيثين والكوپروسترول (coprosterol) الذى ينتج من اختزال الكولسترول بوساطة البكتريا وكما ذكرنا آنفا تخرج بالبراز أملاح الكالسيوم والمغنسيوم والفوسفات والحديد

وينتج لون البراز من أصباغ الصفراء فتختزل البكتريا الموجودة بالأمعاء البيليروبن إلى يوروبيلينوچين الذى يسمى أيضا ستركوبيلينوچين وهــذا يتأكسد عند تعرضه للهواء مع البراز إلى ستركوبيلين وتنتج رائحة البراز من المواد العطرية إندول وسكاتول وغيرها (indole and skatole) ويشتقان من الحمض الأمينى تربتوفان وذلك بوساطة البكتريا التى تفصل منه مجموعة الأمين ثم مجموعات من الكربوكسيل

الباب العاشر

امتصاص الاطعمة (Absorption)

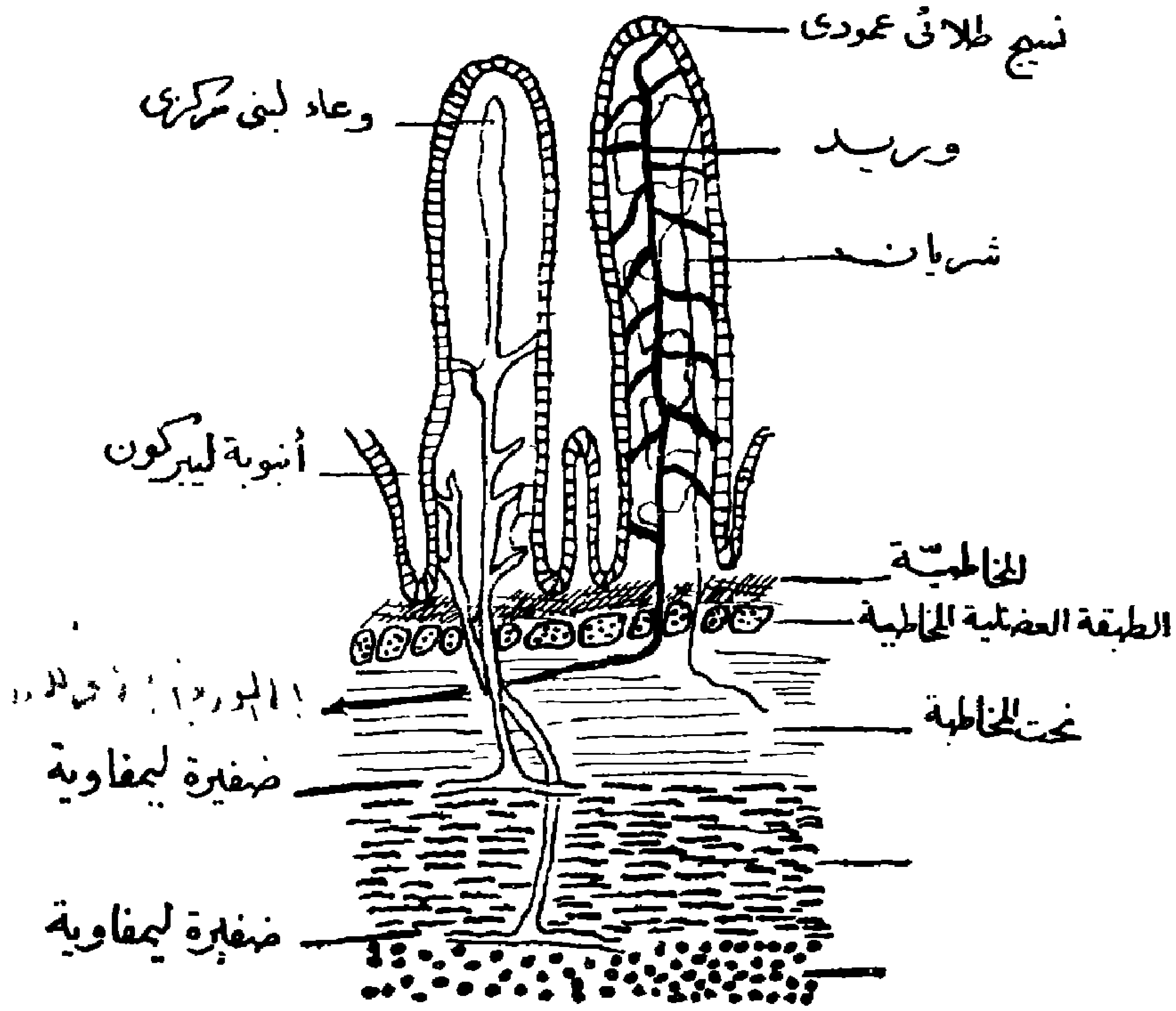
تحلل عملية الهضم مواد الطعام ذات الجزئيات الكبيرة إلى مواد ذات جزئيات صغيره يمكنها أن تمر من الغشاء المخاطى للقناة الهضمية بسهولة إلى الدم لتوزع على أنسجة الجسم ؛ والامتصاص هو العملية التى يتم بوساطتها مرور نتائج هضم الطعام الى الدم

مكان الامتصاص – ليس للمعدة وظيفة تذكر فى عملية الامتصاص فلا يمتص بها شيء اللهم إلا قليلا جداً من سكر العنب والكحول فاذا كان هناك ضيق فى فتحة البواب نتيجة لورم خبيث بها مثلا منع مرور محتويات المعدة الى الأمعاء الدقيقة وحرم الجسم من الاستفادة من الطعام وتكون أهم الاعراض فى هذه الحالة مسببة من قلة كمية الماء بالجسم (dehydration) إذ ان الماء أيضا لا يمتص من جدار المعدة

ويجرى معظم امتصاص الأطعمة فى الأمعاء الدقيقة ويساعد على ذلك وجود الخمائل فى غشائها المخاطى فبوساطة الخمائل تزداد مساحة الغشاء المخاطى كثيراً فيصير عشرة أمتار مربعة تقريباً .

وتتكون كل خميلة كما فى شكل ٢٧ من نسيج ضام شبكى تغطية طبقة من الخلايا الطلائية العمودية وطرف هذه الخلايا من ناحية تجويف الأمعاء مخطط بينما يرتكز الطرف الآخر على غشاء قاعدى (Basement membrane) يفصله عن النسيج الشبكى . ويحتوى النسيج الشبكى على كثير من كرات الدم البيضاء . ويوجد فى وسط كل خميلة وعاء لبنى (central lacteal) مبطن بطبقة من الخلايا الطلائية الدقيقة وتتجمع الأوعية اللبنية من الخمائل العديدة فى

شبكة من الأوعية اللمفاوية موجودة فى الطبقة تحت المخاطية بجدار الأمعاء ويمر اللمف من هذه الشبكة إلى القناة الصدرية اللمفاوية (Thoracic lymph duct)



(شكل ٢٧)

التى تحمل اللمف إلى الدم ويغــــذى كل خميلة شريان صغير أو شريانين (arterioles) ثم يتفرع الشريان إلى شبكة من الشعريات الدموية (capillaries) توجد تحت الغشاء القاعـدى ويرجع الدم ثانية من الخمائل بوساطة أوردة تتجمع مع بعضها مكونة أوردة كبيرة ثم تصب فى الوريد البابى الذى يذهب إلى الـكبد .

وعلى ذلك يوجد طريقان للامتصاص وهما الوعاء اللبنى الموجود فى وسط كل خميلة . والشعريات الدموية الموجودة تحت الخلايا الطلائيـــة للخميلة . فيمتص الدهن فى الوعاء اللبنى ثم يمر إلى القناة الصدرية اللمفاوية ثم إلى الدم وهكذا لا يمر الدهن إلى الـكبد أولا وتمتص الأحماض الأمينية وأحاديات التسكر عن طريق الأوعيـة الدموية إلى الوريد البابى وتمر فى الـكبد أولا .

وللأمعاء الغليظة المقدرة على الامتصاص ، ولو أن الامتصاص منها أبطء كثيراً من الامتصاص من الأمعاء الدقيقة ، وفى الأحوال الطبيعية فى الانسان نجد أن معظم محتويات الطعام تمتص من الأمعاء الدقيقة قبل وصولها إلى الأمعاء الغليظة — ويمتص من الأمعاء الغليظة الماء والجلوكوز والأحماض الأمينية ، وفى الأحوال المرضية التى يتعذر فيها أعطاء أى شىء عن طريق الفم كحالات الغيبوبة يمكن استعمال الحقن الشرجية المحتوية على محلول من الجلوكوز لتغذية المريض وخصوصاً لمنع حرمانه من الماء[1].

آلية الامتصاص (mechanism of absorption) : الامتصاص عملية حيوية (vital process) تقوم بها الخلايا الطلائية للخمائل لايمكن تفسيرها بالقوانين الطبيعية الكيميائية المعروفة كقوانين الانتشار (diffusion) أو الضغط الأزموزى (osmotic pressure) ومما يثبت أن الامتصاص عملية حيوية البراهين الآتية :

✓ أولا — تزداد كمية الدم المارة بالأمعاء وتزداد كمية الأوكسيچين التى تستعملها جدران الأمعاء وقت عملية الامتصاص وهذه الزيادة أكثر بكثير من أن تسبب من زيادة حركات الأمعاء مما يدل على أن الخلايا الطلائية نفسها تستعمل كميات أكثر من الأوكسيجين وتصرف كمية أكبر من الطاقة فى عملية الامتصاص. ولايحدث ذلك إن كان الغشاء المخاطى للأمعاء غشاء غير حيوى تمر منه الأيونات المختلفة فقط نظراً لفرق بين تركيزها فى تجويف الأمعاء وتركيزها فى الدم أو نظراً لفرق فى الضغط الأزموزى بين محتويات الأمعاء والدم أو نظراً لعوامل طبيعية كيميائية أخرى .

---

(١) ويلاحظ عدم ادخال المحلول فى المستقيم بسرعة حتى لاتتمدد جدرانه تمدداً فجائياً لأن ذلك يسبب فعلا منعكسا يدعو إلى تبرز المحلول (انظر ص ١٠٨) ويمكن منع ذلك بجعل مستودع الحقنة لايعلو عن المريض إلا قليلا (من ١٠ إلى ٢٠ سم) .

٢ — لا تمتص الهكسوزات كلها بسرعة واحده ويمكن ترتيبها بحسب سرعة امتصاصها كما يأتى — الجالاكتوز فالجلوكوز فالفركتوز فالمانوز — وهذه كلها تمتص أسرع من البنتوزات فإذا منعنا جدار الأمعاء من استعمال الأوكسچين بإضافة سيانور البوتاسيوم إلى الدم أو إذا قللنا تفاعلاته الكيمائية بوساطة تبريده اختفت هذه الفروق فى سرعة الامتصاص مما يدل على أنها ناشئة من عمل جدار الأمعاء نفسه وليس من فروق فى خواص هذه الهكسوزات .

٣ — فُصل جزء من الأمعاء الدقيقة عن باقيها وغسل الغشاء المخاطى من الخمائر التى قد تكون عالقة به ثم وضع بهذا الجزء بعض من سيرم الحيوان نفسه ووجد أنه يمتص بالتدريج دون أن يهضم . وتثبت هذه التجربة أن الامتصاص لا يتوقف على اختلاف فى التركيب الكيميائى أو فى الخواص الطبيعية الكيميائية بين محتويات الأمعاء والدم .

٤ — قورنت أملاح مختلفة للصوديوم من حيث قابليتها للامتصاص من الأمعاء وأمكن تقسيمها أربعة أقسام فالقسم الأول يحتوى على (كلورور وبرومور ويودور وخلات الصوديوم) وهى أملاح تمتص بغاية السهولة ويحتوى القسم الثانى على (أزوتات ولاكتات وساليسيلات الصوديوم) وهى أملاح تمتص بشىء من الصعوبة ويحتوى القسم الثالث على (كبريتات وفوسفات وسترات الصوديوم) وهى لا تمتص إلا بصعوبة كبيرة بحيث أنها تحجز الماء المذابة فيه وتمنعه من الامتصاص فتزيد من حركة الأمعاء ولذلك تستعمل هذه الأملاح كمسهلات والقسم الرابع يحتوى على (أوكسالات وفلورور الصوديوم) وهى لا تمتص بالكلية — ولا يمكن تفسير الاختلاف أو التشابه فى قابلية الامتصاص بما هو معروف من خلاف فى الخواص الكيميائية أو الطبيعية لهذه الأملاح إذ أن كل قسم منها يحتوى على أملاح عضوية وأخرى غير عضوية — كما وأن كل قسم منها يحتوى على أملاح تختلف عن بعضها فى

سرعة انتشارها من الأغشية الغير الحية كما تختلف فى الخواص الطبيعية الأخرى .

ولو أنه واضح مما تقدم أن عملية الامتصاص عملية حيوية تقوم بها خلايا الغشاء المخاطى للامعاء إلا أن العوامل الطبيعية الكيميائية قد تؤثر عليها بأن تبطئها أو تسرعها ومن هذه العوامل ما يأتى :

أولا : الضغط الأوزموزى لمحتويات الأمعاء : إذا وضعنا بجزء من الأمعاء محلولا من ملح الطعام ضغطه الأوزموزى يساوى الضغط الأوزمورى للدم (isotonic solution) امتص بسهولة فى حين أنه إذا كان ضغطه الأزموزى أعلى من الضغط الأوزموزى للدم (Hypertonic) أمتص بعض من الملح أولا بدون الماء المذاب به ومر بعض من الماء من الدم الى محلول الملح فى تجويف الأمعاء ليخففه وهكذا تقل سرعة الأمتصاص

ثانياً : الضغط الموجود بتجويف الأمعاء : إذا زاد الضغط بتجويف الأمعاء زادت سرعة الامتصاص وإذا قل الضغط قلت سرعة الامتصاص

ثالثا : حركات الأمعاء : تساعد حركات جدار الأمعاء الدقيقة عملية الامتصاص مساعدة كبيرة والحركات المجزئة (ص ١٠٢) هى المهمة من هذه الناحية فبوساطة هذه الحركات تحين الفرصة لكل جزء من محتويات الأمعاء لأن يلاصق الغشاء المخاطى ويمتص . وكذلك تزيد هذه الحركات الضغط بداخل الأمعاء مما يزيد سرعة الامتصاص وفضلا عن ذلك فان عضلات الأمعاء تضغط أثناء انقباضها على الأوعية اللمفاوية والدموية التى بينها وبذا تساعد مرور الدم الى الوريد البابى كما تساعد مرور اللمف إلى القناة اللمفاوية الصدرية ولا يمر الدم أو اللمف فى الجهة المضادة نظراً لوجود صمامات فى الأوعية اللمفاوية والدموية لاتسمح بالمرور إلا فى جهة واحدة فقط هذا وتساعد حركات الخمائل الامتصاص نظراً للتيارات التى تسببها فى محتويات الأمعاء ونظرا لأنها تساعد على تفريغ الوعاء اللبنى والشعريات الدموية الموجودة بها

رابعاً : الدورة الدموية فى الأمعاء — لو منع مرور الدم فى الأمعاء وقفت عملية الامتصاص ولايرجع السبب فى ذلك فقط الى أن الأحماض الأمينية وأحاديات التسكر يمتص فى الدم مباشرة بل لأن الدم يقدم الى الغشاء المخاطى للامعاء الاوكسجين اللازم للخلايا كى تستطيع أن تحصل على الطاقة اللازمة لها لتقوم بعملية الامتصاص .

هذا وهناك عوامل أخرى تساعد على امتصاص بعض أنواع الأطعمة دون غيرها فمثلا يساعد الفيتامين د امتصاص الكالسيوم وتساعد أملاح الصفراء امتصاص الأحماض الدهنية والكوليسترول والفيتامين د ، ويساعد حامض الكلوردريك المعدى امتصاص الحديد من الأمعاء الدقيقة

التمثيل الغذائى العام

General Metabolism

الباب الحادى عشر

الهدم والبناء

ينقسم التمثيل الغذائى قسمين — الهدم (catabolism) والبناء (anabolism) — فالهدم عبارة عن تحليل المواد التى يتركب منها البروتوپلازم وأكسدتها وتحويل ما بها من طاقة كامنة إلى عمل نافع كحركات الجسم المختلفة وإلى حرارة. والبناء هو تلك العملية التى بوساطتها يعوض البروتوپلازم عما يفقده فى عملية الهدم ويتكون من تحويل نتائج هضم الطعام إلى بروتوپلازم فى خلايا الجسم.

وقد عملت آلاف من التجارب أثبتت صحة القانون الأول للطبيعة والكيمياء لما يحدث بداخل الجسم. ويقول هذا القانون أن المادة والطاقة لاتولدان ولا تفنيان. فلا يقدر الجسم الحى أن يولد المواد العضوية أو الغير العضوية التى يتركب منها البروتوبلازم بل يجب أن يحصل على حاجته منها من الوسط المحيط به.

ويحصل الجسم على ما يحتاجه من الخارج عن طريق القناة الهضمية والرئتين. فبوساطة القناة الهضمية نحصل على الغذاء وبوساطة الرئتين نحصل على الأوكسيچين. وكل المواد العضوية التى نأخذها فى الغذاء قابلة للأكسدة وأهم عناصرها الكربون والايدروچين مع بعض من الأوكسيچين والأزوت والكبريت. ويتأكسد الكربون إلى ثانى أكسيد الكربون؛ والايدروچين

إلى الماء ، والكبريت إلى كبريتات ؛ وأما الأزوت فيتحول بالجسم إلى عدة مواد أزوتية أهمها البولينا (urea) وبأكسدة عناصر الطعام تنطلق الطاقة الكامنة التي به ويستعملها الجسم فى حركاته المختلفة وتفاعلاته الكيميائية والطبيعية التي تكون فى مجموعها الحياة وكذلك يظهر مقدار كبير من هذه الطاقة على شكل حرارة يفقدها الجسم إلى الجو المحيط به . ويخرج ماتبقى من فضلات أكسدة عناصر الغذاء من الجسم بوساطة أعضاء الافراز كالكلى والرئتين والأمعاء الغليظة والجلد .

وقد عملت تجارب طويلة على الحيوان والانسان حلل فيها الطعام تحليلا وافياً وقدرت فيها كمية الأوكسيچين التي يستعملها الجسم وكذلك حللت فى نفس الوقت الافرازات المختلفة وأهمها البول والبراز وهواء الزفير وظهر من هذه التجارب أن عناصر الغذاء لاتفقد بالجسم ولكنها تتحول إلى مركبات أخرى تخرج من الجسم بعد أن يستعمل الجسم من الغذاء — كما ذكرنا — الطاقة الكامنة التي به .

وإذا زاد دخل الجسم عما يخرجه أدى ذلك إلى زيادة وزن الجسم . وهذا هو الواقع فى حالات النمو . وقد يزيد الدخل عن الخرج أيضاً فى البالغين وفى هذه الحالة يخزن معظم الزائد على شكل دهن تحت الجلد وفى جهات أخرى . إذ أن كمية ما يمكن خزنه من مائيات الكربون والبروتين بالجسم محدودة جداً كما سنرى فيما بعد . وإذا تساوى الدخل والخرج بقى وزن الجسم ثابتاً وهو مايحدث غالباً فى الكبار الذين يتعاطون طعاماً صحياً كاملا وأما إذا قل الدخل عن الخرج أو إذا صام الانسان نقص وزن جسمه إذ يستعمل الشخص فى هذه الحالة المواد العضوية المخزونة فى جسمه كما يستعمل مواد البروتوبلازم نفسه للحصول على الطاقة اللازمة للحياة .

وقد قدرت الطاقة الكامنة فى أنواع الأطعمة التي نأخذها وذلك بوساطة أكسدتها خارج الجسم فى مسعر إلى ثانى أكسيد الكربون والماء و . . . الخ وقد وجد أن :

١ — كل جرام واحد من مائيات الكربون يتأكسد خارج الجسم يولد ٤,١ سعراً حرارياً كبيراً (١).

٢ — كل جرام واحد من الدهن يتأكسد خارج الجسم يولد ٩,٣ سعراً حرارياً كبيراً

٣ — كل جرام واحد من البروتين يتأكسد خارج الجسم يولد ٥,٣ سعراً حرارياً كبيراً.

وعند أكسدة هذه المواد الغذائية فى جسم الحيوان تعطى مائيات الكربون والدهون نفس الطاقة التى تتولد منها إذا أكسدت خارجه وأما البروتينات فيتولد منها داخل الجسم طاقة أقل من تلك التى تتولد خارجه ، وذلك لأن جزيئات الأحماض الأمينية لا تتأكسد كلها أكسدة تامة داخل الجسم بل يخرج جزء كبير من الجزيئات بالبول على شكل بولينا ومواد أخرى لا يزال بها كميات من الطاقة الكامنة يمكن الحصول عليها عند أكسدتها فى مسعر خارج الجسم أكسدة تامة. ولذلك يولد الجرام الواحد من البروتين عند استعماله داخل الجسم ٤,١ سعراً حرارياً كبيراً فقط بدلا من ٥,٣ سعراً حرارياً كبيراً ويبين (جدول ٢) القيمة الحرارية الطبيعية والقيمة الحرارية الفسيولوجية لأنواع الأطعمة الثلاث مقدرة بالسعر الحرارى الكبير للجرام الواحد

وأما المواد الغير العضوية فهى لا تولد أى طاقة بالجسم ولكنها أساسية للحياة ويجب أن توجد مقادير كافية منها بالطعام عوضاً عن تلك التى يفقدها الجسم باستمرار فى إفرازاته المختلفة.

---

(١) السعر الحرارى هو كمية الحرارة التى تلزم لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة واحدة مئوية (من درجة ١٥ إلى درجة ١٦ مئوية) ولما كان هذا السعر صغيراً فقد استعمل سعر حرارى كبير للتقديرات الفسيولوجية . والسعر الحرارى الكبير يساوى ١٠٠٠ سعر حرارى صغير أى أن السعر الحرارى الكبير هو كمية الحرارة التى تلزم لرفع درجة حرارة كيلو جرام واحد من الماء من درجة ١٥ إلى درجة ١٦ مئوية .

(جدول ٢)

نوع الطعام	القيمة الحرارية الطبيعية	القيمة الحرارية الفسيولوجية
مائيات الكربون	٤,١	٤,١
الدهن	٩,٣	٩,٣
البروتين	٥,٣	٤,١

وقد قورن الدخل والخرج الحرارى للجسم فى تجارب عديدة عملت على الحيوان والانسان وفى هذه التجارب قدرت القيمة الحرارية للطعام الذى يؤكسده الجسم لعدة أيام كما قدرت كمية الحرارة التى يخرجها الجسم وذلك بوساطة طرق عديدة سنشرحها فيما بعد وثبت من هذه التجارب ثبوتاً قاطعاً أن الطاقة كالمادة لا يمكنها أن تتولد أو تفنى بالأجسام الحية .

ويبين جدول ٣ بعض التجارب التى قام بها أتواتر وبندكت (Atwater & Benedict) على عدة أشخاص

(جدول ٣)

عدد الأشخاص الذين أجريت عليهم التجربة	الحالة	عدد أيام التجربة	متوسط الدخل الحرارى فى اليوم محسوبا من الطاقة الكامنة للمواد التى أكسدها الجسم سعرا حراريا كبيرا	متوسط الخرج الحرارى فى اليوم مقدرا تجريبيا سعرا حراريا كبيرا	الفرق المئوى
٤	راحة	٤١	٢٢٤٦	٢٢٤٦	٠,٠
٣	شغل	٦٦	٤٦٨٢	٤٦٧٦	— ٠,١
٣	غذاء خاص	٢٦	٢٢٩٠	٢٣٠٥	+ ٠,٧
٢	غذاء خاص وشغل	١٠	٣٧١٩	٣٧٠٢	— ٠,٥

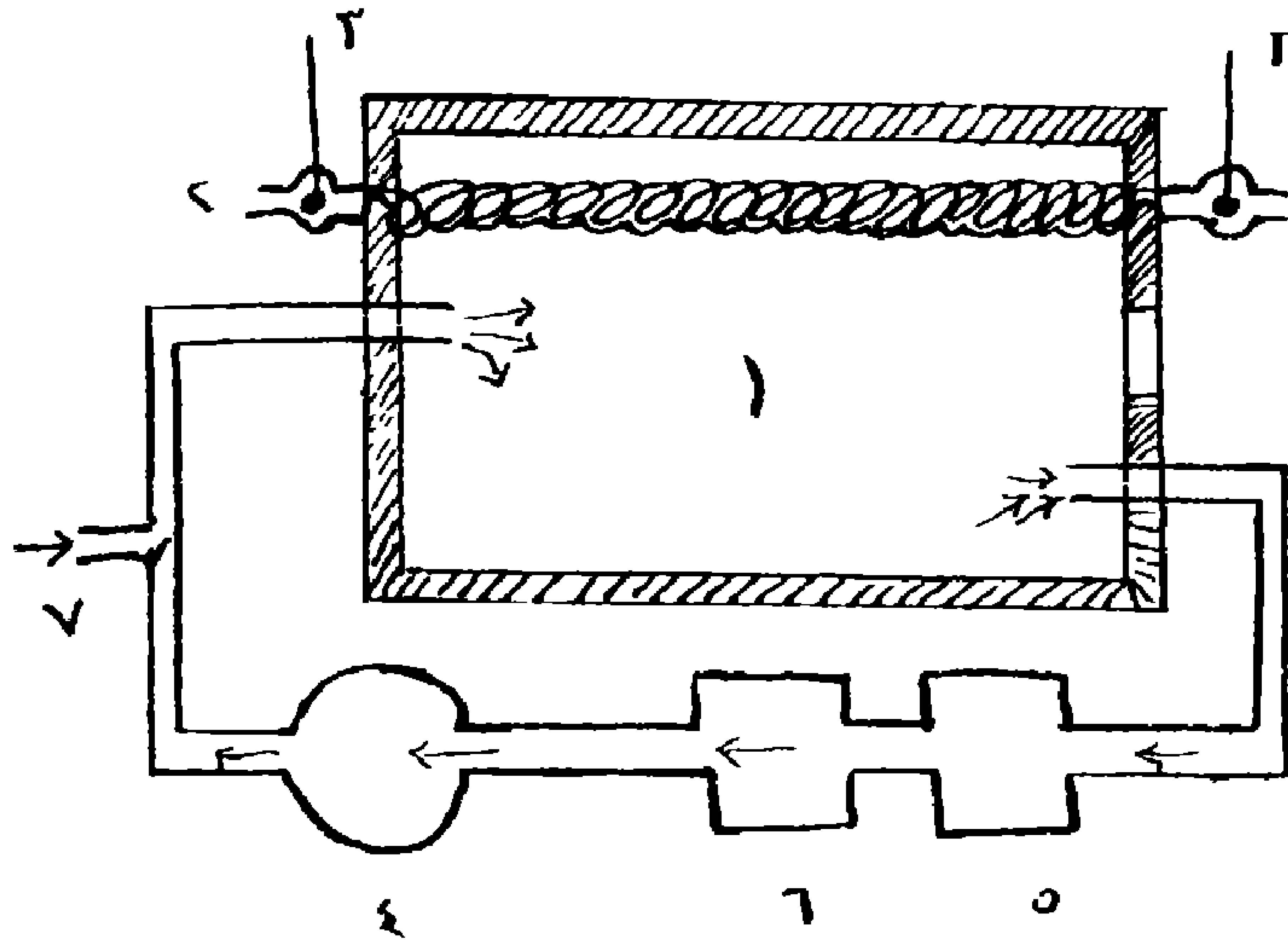
نرى من الجدول السابق أن الدخل الحرارى محسوباً من الطاقة الكامنة للمواد التى أكسدها الجسم يساوى تماما الخرج الحرارى أى سرعة التمثيل الغذائى للجسم مقدراً تجريبياً وأن الفرق المئوى بين التقديرين ضئيل جداً بالنسبة لتعقد هذه التجارب وضخامتها بحيث انه يمكننا إهماله .

الطرق المستعملة فى تقدير سرعة التمثيل الغذائى

تنقسم هذه الطرق قسمين :

أولا : التقدير الحرارى المباشر (Direct Calorimetry)

ثانياً : التقدير الحرارى الغير المباشر (Indirect Calorimetry)



(شكل ٢٨)

جهاز أتواتر وبندكت للتقدير المباشر للتمثيل الغذائى

١ — الغرفة التى يوجد بها الشخص .

٢ — أنابيب المياه التى تمتص الحرارة

٣ — ترمومترات حساسة .

٤ — مروحة لتحريك الهواء .

٥ ، ٦ — أوعية لامتصاص الماء وثانى أكسيد الكربون من الهواء .

٧ — صنبور يتصل باسطوانة من الأوكسيجين لادخال الأوكسيجين إلى الغرفة .

التقدير الحرارى المباشر : يتكون الجهاز (شكل ٢٨) الذى يستعمل فى هذه

الطريقة من غرفة رحبة ، ذات جدران مزدوجة بينها مواد عازلة للحرارة . وتسع الغرفة ما يحتاجه الشخص فى الحياة العادية . فيمكن أن يوضع بها فراش ومنضدة ودراجة ثابتة تستعمل للقيام بمجهود يمكن تقديره . وكذلك يمكن تقديم الطعام للشخص من نوافذ مزدوجة تمنع تسرب الهواء أو الحرارة من داخل الغرفة إلى خارجها وتجعل درجة حرارة الجدران الداخلية والخارجية متساوية بوساطة تنظيم كهربائى وبذلك لاتفقد الحرارة من داخل الغرفة إلى خارجها عن طريق جدرانها . وتمتص الحرارة التى يولدها الجسم بوساطة ماء يجرى فى أنابيب تمر داخل الغرفة . فاذا قيست درجة حرارة الماء الداخل إلى الغرفة ودرجة حرارة الماء الخارج منها وكمية الماء التى تمر فى وقت معين أمكن تقدير كمية الحرارة التى يمتصها الماء وتقاس درجة حرارة الماء بوساطة ترمومترات كهربائية حساسة جداً . هذا وتلاحظ أيضاً وقت التجربة درجة حرارة الجسم نفسه بوساطة ترمومتر حساس يوضع بالمستقيم ويجب أن تكون درجة حرارة الجسم ثابتة وقت قياس سرعة التمثيل الغذائى . إذ أنها إن زادت دل ذلك على أن الجسم لا يفقد للغرفة كل ما يتكون به من حرارة تنتج من تمثيله الغذائى ويدعو ذلك إلى نقص فى نتيجة التقدير وأما إن قلت درجة حرارة الجسم أدى ذلك إلى زيادة فى نتيجة التقدير . وعليه يجب تصحيح الخطأ الذى ينتج عن تغيير فى درجة حرارة الجسم نفسه وقت التجربة ولهذا التصحيح قدرت الحرارة النوعية لأنسجة الجسم بمقدار ٠,٨٣ من السعر تقريباً (١)

وبوساطة مروحة خاصة يمرر هواء الغرفة فى أوعية تمتص ما به من بخار الماء وثانى أكسيد الكربون ويضاف إليه الأوكسيجين . ويمتص بخار الماء بوساطة خرز زجاجى مبلل بحامض الكبريتيك يوجد فى أول وعاء يمر به هواء الغرفة ولما كان بخار الماء يتبخر من الجلد والرئتين فانه يأخذ من الجسم حرارة التبخير الكامنة (Latent heat of evaporisation) ولذلك يجب أيضا تقدير كمية الحرارة الكامنة فى بخار الماء . ولحساب ذلك نضرب عدد جرامات الماء التى يمتصها حامض الكبريتيك فى ٠,٥٨ وهذا العدد عبارة عن حرارة التبخير الكامنة مقدرة بالسعر الكبير لكل جرام من الماء يتبخر عند درجة حرارة جلد الجسم . وتلخيصاً لما تقدم نقول أن

---

(١) الحرارة النوعية هى مقدار الحرارة التى تلزم لرفع درجة حرارة كيلو جرام من الجسم درجة واحدة مئوية . (يستعمل السعر الكبير فى كل التقديرات الفسيولوجية انظر هامش صفحة ١١٩) .

سرعة التمثيل الغذائى بهذه الطريقة تساوى كمية الحرارة التى يمتصها الماء الذى يمر بالغرفة فى وقت معين زائداً كمية الحرارة الكامنة فى بخار الماء الذى يتبخر من الجسم فى نفس الوقت مع ملاحظة عدم تغيير حرارة الجسم أو هواء وجدران الغرفة وقت عمل التجربة .

وبوساطة تقدير كمية ثانى أكسيد الكربون الذى يفرزه الجسم والذى يمتص بأوعية خاصة توضع فى مجرىء الهواء (شكل ٢٨) . وتقدير كمية الأوكسيچين الذى يستعمله الجسم أمكن حساب سرعة التمثيل الغذائى بالطرق الغير المباشرة أيضاً فى نفس التجربة ، وقد أثبت ذلك صحة الطرق الغير المباشرة فى تقدير التمثيل الغذائى وأهم مزية للطريقة المباشرة أنه يمكن بوساطتها القيام بعمل تجارب طويلة — قد تستمر عدة أيام — على سرعة التمثيل الغذائى . هذا ولا يتنفس الشخص فى هذه الطريقة من صمامات وأنابيب مختلفة كما فى الطرق الأخرى . ولا تستعمل الطريقة المباشرة الآن كثيراً وذلك لأن إنشاء الجهاز يحتاج إلى تكاليف كثيرة وفضلا عن ذلك فهو جهاز ثابت فى مكانه ولا يمكن نقله إلى المرضى فى دورهم بل يجب نقل المريض اليه . وقبل أن نشرح الطرق الغير المباشرة سنتكلم عن معامل التنفس حتى يسهل فهم هذه الطرق .

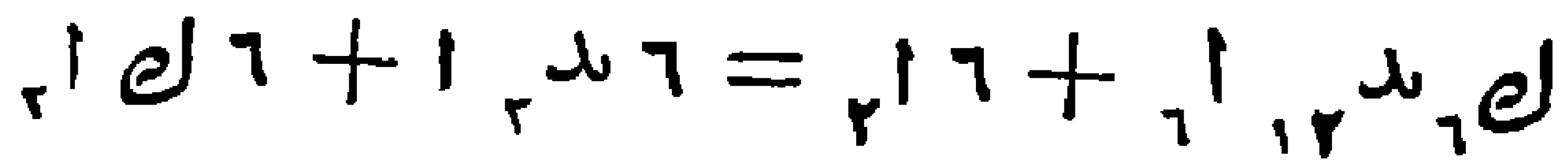
معامل التنفس (Respiratory Quotient)

معامل التنفس هو خارج قسمة حجم ثانى أكسيد الكربون الذى يتكون بالجسم ويخرج مع عملية الزفير فى وقت معين على حجم الأوكسيچين الذى يستعمله الجسم فى نفس الوقت ، ويجب أن تكون النسبة بحجم الغازات لابوزنها . فاذا فرضنا أن شخصاً يخرج فى الزفير ٢٠٠ سم^{٣} من ثانى أكسيد الكربون فى الدقيقة ويستهلك ٢٥٠ سم^{٣} من الأوكسيچين فى الدقيقة فان معامل تنفسه $= \frac{٢٠٠}{٢٥٠} =$ ٠٫٨

أهمية معامل التنفس :

أولا — يبين معامل التنفس نوع المادة العضوية التى تأكسدت بالجسم فى وقت تقديره . وذلك لأن أنواع الأطعمة الثلاث تختلف عن بعضها فى نسب كميات الكربون والأوكسيچين التى تحتوى عليها . ولذلك دعت أكسدة كل نوع من أنواع الطعام إلى معامل تنفس خاص .

تبين المعادلة الآتية أكسدة سكر العنب



يظهر جلياً من هذه المعادلة أن كمية الأوكسيچين الموجودة بجزىء سكر العنب تساوى تماماً تلك الكمية التى تلزم لأكسدة كل الأيدروچين الموجود بالجزىء . وعليه لانحتاج لأى أوكسيچين من الخارج لأكسدة الأيدروچين . وكل مايؤخذ من الأوكسيجين يستعمل فى أكسدة الكربون إلى ثانى أكسيد الكربون . ولذلك نرى أن كل جزىء من الأوكسيچين يولد جزيئاً من ثانى أكسيد الكربون . وبحسب قانون أفوجادرو[1] (Avogadro) فان حجم الأوكسيچين الذى يستعمل فى أكسدة سكر العنب — أو مائيات الكربون الأخرى — يساوى تماماً حجم ثانى أكسيد الكربون الذى يتكون . ولذلك فان معامل التنفس لمائيات الكربون يساوى واحداً .

وبنفس الطريقة حسب معامل التنفس للدهن بمقدار ٠٫٧١ وللبروتينات بمقدار ٠٫٨

ولما كانت المواد المحترقة بالجسم فى الأحوال العادية هى خليط من هذه المواد الثلاثة كان معامل التنفس الطبيعى حوالى ٠٫٨٥

وقد كشف معامل التنفس عن نوع المادة أو المواد الغذائية التى تتأكسد

---

(١) على حسب قانون أفوجادرو يكون حجما أى غازين متساويين إذا احتويا على نفس العدد من الجزيئات وإذا كانا فى درجة حرارة واحدة وتحت ضغط متساو .

بالجسم فى الحالات المختلفة . الفسيولوچية أو المرضية كحالات الصيام والمجهود الرياضى ومرض البول السكرى وغيرها . (أنظر ص ١٥٢ و ١٧٥)

ثانياً : يؤخذ معامل التنفس كدليل لتحويل إحدى المواد الغذائية بالجسم إلى الأخرى ، فمثلا تحتوى مائيات الكربون على كميات من الأوكسيچين أكثر من الدهن فعند تحويل جزيئات مائيات الكربون إلى دهن فى الجسم تنطلق كميات الأوكسيچين الزائدة ويقل ما يحتاج إليه الجسم من الأوكسيچين من الجو ، وبذا يرتفع معامل التنفس ويصير أكثر من واحد ويحدث هذا فى حيوانات المزرعة عند تسمينها . هذا وقد قدر معامل التنفس فى الحيوانات التى تنام شتاء (Hibernating animals) خلال نومها الشتوى ووجد أنه ينخفض كثيراً عن ٧ر. ويستدل بذلك على أن الحيونات فى هذه المدة تحول الدهن المخزون بأجسامها إلى مائيات الكربون إذ أن الدهن مادة فقيرة بالأوكسيچين بعكس مائيات الكربون ولذا يحتاج الجسم إلى كمية كبيرة من الأوكسيچين من الجو .

ثالثاً : يستعمل معامل التنفس فى تقدير التمثيل الغذائى بالطرق الغير المباشرة فإذا عرف معامل التنفس وعرفت كمية الأوكسيچين التى استعملها الجسم فى مدة معينة أمكن حساب التمثيل الغذائى والسبب فى ذلك أن الجزء الأكبر من الأوكسيچين يستعمل إما لأكسدة الكربون أو الإيدروچين بالجسم . فاذا استعمل لأكسدة الكربون أعطى كمية أكبر من الحرارة عما إذا استعملت نفس الكمية من الأوكسيچين لأكسدة الايدروچين . وبديهى أنه كلما كثر استعمال الأوكسيچين لأكسدة الايدروچين بالجسم قل معامل التنفس . فاذا استعمل لتر من الأوكسيچين بالجسم لأكسدة مائيات الكربون ولد ٠٤٧ر٥ سعراً حرارياً كبيراً بينما يولد ٦٨٦ر٤ سعراً حرارياً كبيراً إذا استعمل لأكسدة الدهن ويبين جدول ٤ اختلاف القيمة الحرارية للتر من الأوكسيچين باختلاف معامل التنفس .

جدول ٤

معامل التنفس اللاأزوتى	القيمة الحرارية لكل لتر من الأوكسيچين سعرا حراريا كبيرا	النسبة المئوية للاسعار المشتقة من أكسدة	
		مائيات الكربون	الدهون
٠,٧٠٧	٤,٦٨٦	٠,٠ فى المائة	١٠٠,٠ فى المائة
٠,٧١	٤,٦٩٠	١,١٠ »	٩٨,٩ »
٠,٧٢	٤,٧٠٢	٤,٧٦ »	٩٥,٢ »
٠,٧٣	٤,٧١٤	٨,٤٠ »	٩١,٦ »
٠,٧٤	٤,٧٢٧	١٢,٠ »	٨٨, »
٠,٧٥	٤,٧٣٩	١٥,٦ »	٨٤,٤ »
٠,٧٦	٤,٧٥١	١٩,٢ »	٨٠,٨ »
٠,٧٧	٤,٧٦٤	٢٢,٨ »	٧٧,٢ »
٠,٧٨	٤,٧٧٦	٢٦,٣ »	٧٣,٧ »
٠,٧٩	٤,٧٨٨	٢٩,٩ »	٧٠,١ »
٠,٨٠	٤,٨٠١	٣٣,٤ »	٦٦,٦ »
٠,٨١	٤,٨١٣	٣٦,٩ »	٦٣,١ »
٠,٨٢	٤,٨٢٥	٤٠,٣ »	٥٩,٧ »
٠,٨٣	٤,٨٣٨	٤٣,٨ »	٥٦,٢ »
٠,٨٤	٤,٨٥٠	٤٧,٢ »	٥٢,٨ »
٠,٨٥	٤,٨٦٢	٥٠,٧ »	٤٩,٣ »
٠,٨٦	٤,٨٧٥	٥٤,١ »	٤٥,٩ »
٠,٨٧	٤,٨٨٧	٥٧,٥ »	٤٢,٥ »
٠,٨٨	٤,٨٩٩	٦٠,٨ »	٣٩,٢ »
٠,٨٩	٤,٩١١	٦٤,٢ »	٣٥,٨ »
٠,٩٠	٤,٩٢٤	٦٧,٥ »	٣٢,٥ »
٠,٩١	٤,٩٣٦	٧٠,٨ »	٢٩,٢ »
٠,٩٢	٤,٩٤٨	٧٤,١ »	٢٥,٩ »
٠,٩٣	٤,٩٦١	٧٧,٤ »	٢٢,٦ »

تابع — جدول ٤

معامل التنفس اللاأزوتى	القيمه الحراريه لكل لتر من الأوكسچين سعرا حراريا كبيرا	النسبة المئوية للاسعار المشتقة من أكسدة	
		مائيات الكربون	الدهون
٠,٩٤	٤,٩٧٣	٨٠,٧ فى المائة	١٩,٣ فى المائة
٠,٩٥	٤,٩٨٥	٨٤,٠ »	١٦,٠ »
٠,٩٦	٤,٩٩٨	٨٧,٢ »	١٢,٨ »
٠,٩٧	٥,٠١٠	٩٠,٤ »	٩,٥٨ »
٠,٩٨	٥,٠٢٢	٩٣,٦ »	٦,٣٧ »
٠,٩٩	٥,٠٣٥	٩٦,٨ »	٣,١٨ »
١,٠٠	٥,٠٤٧	١٠٠,٠ »	٠,٠ »

الأخطاء التى قد ترتكب فى استنتاجات معامل التنفس : يوجد بأنسجة الجسم وبالدم كثير من بيكربونات الصوديوم والپوتاسيوم التى تحتوى على كميات كبيرة من ثانى أوكسيد الكربون. وهذه الكميات قابلة للتغيير. وإذا تغيرت وقت التجربة نتج عن ذلك اختلاف فى معامل التنفس، إذ لكى يكون الاستنتاج صحيحاً يجب أن يكون ثانى أكسيد الكربون ناتجاً من أكسدة الكربون بالجسم وقت عمل التجربة.

ولشرح هذه النقطة نقدم الأمثلة الآتية : —

١ — إذا تنفس الشخص بسرعة وبعمق قلل ذلك من نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء الحويصلات الرئوية، ويدعو ذلك إلى قذف كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون الذى يوجد بالدم دائماً والذى لم ينتج من التمثيل الغذائى فى وقت زيادة التنفس، ويكون معامل التنفس فى هذه الحالات أعلى من ١ بكثير.

٢ — عند بدء المجهود الرياضى الشديد تتكون بالعضلات كميات كبيرة

من حامض اللبنيك وتمر بالدم وتتفاعل هـذه مع بيكربونات الصوديوم بالدم وتنتج ثانى أكسيد الكربون الذى يقذف فى الزفير ويدعو إلى معامل تنفس عالٍ أكبر من ١ .

٣ — وقت الشفاء من التمرين العضلى يستعمل الأوكسيجين فى أكسدة حامض اللبنيك المتراكم بالجسم ولايخرج ك ا٢ الناشىء مع هواء الزفير بل يبقى فى الجسم ليتحد مع القواعـد التى كانت متحدة مع حامض اللبنيك وأطلقت بأكسدته ، وينتج عن ذلك معامل تنفس منخفض يقدر بنحو ٠٫٣ إلى ٠٫٥ .

وملافاة لذلك يجب تقدير الغازات لحساب معامل التنفس فى مدد طويلة حتى لا تؤثر فيه هذه التغييرات الوقتية فى كمية ك ا٢ بالدم ، فمثلا كما ذكرنا آنفاً فى حالة المجهود الرياضى يجب حساب الغازات طول مدة المجهود ومايليها من مدة الشفاء .

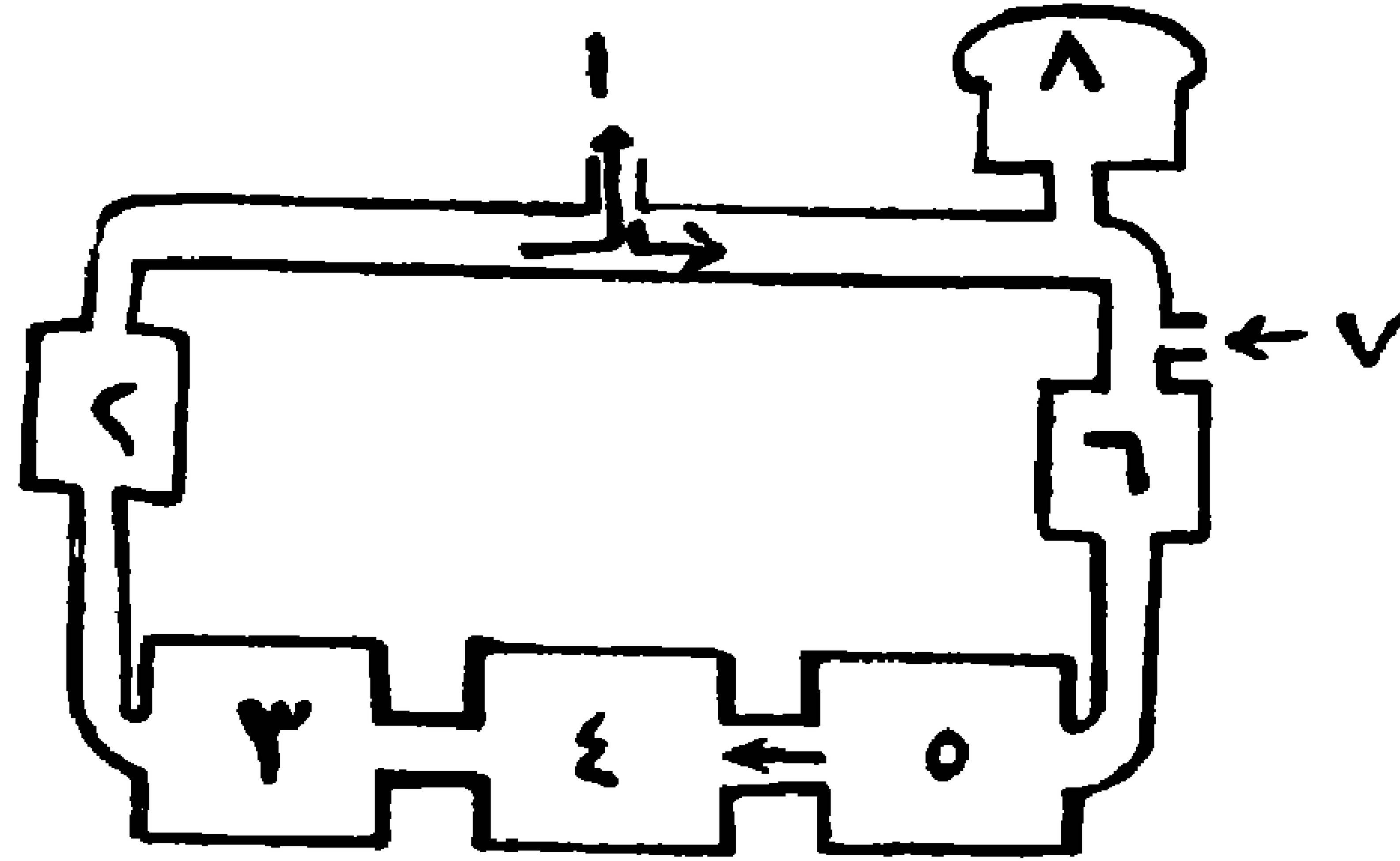
التقدير الحرارى الغير المباشر : تختلف هذه الطرق عن الطريقة السابقة فى أنه لا تقاس بوساطتها الحرارة التى يولدها الجسم مباشرة ولـكن تحسب هذه الحرارة من كمية الأوكسيچين التى يستهلكها الجسم فى وقت معين ومن معامل التنفس فى ذلك الوقت . وتنقسم هذه الطرق قسمين :

أولا — الطرق ذات الدائرة المغلقة (Closed circuit methods)

ثانيا — الطرق ذات الدائرة المفتوحة (Open circuit methods)

فى الطرق ذات الدائرة المغلقة يتنفس الحيوان أو الشخص نفس الكمية من الهواء . ويمتص ثانى أكسيد الكربون من الهواء بوساطة الصودا الجيرية (Soda lime) ويزاد إلى الهواء كميات من الأوكسيچين مساوية لتلك التى يستعملها الجسم تقريبا . وأما الآزوت فيجرى تنفسه باستمرار ومن أمثلة هذه الأجهزة ما يأتى :

١ — جهاز بندكت (Benedict) ويبين هذا الجهاز تخطيطيا فى شكل ٢٩ فيتنفس الشخص من أنفه — يبقى الفم مغلقاً — من الصمام (١) فيمر هواء الزفير فى اتجاه السهم إلى الوعاء (٥) وتساعد مروحة مخصوصة ممثلة برقم (٦) مرور الهواء فى هذا الاتجاه ويمتص الوعاء (٥) بخار الماء إذ يحتوى على خرز زجاجى مبلل بحامض الكبريتيك ثم يمر الهواء إلى الوعاء (٤) الذى يحتوى على صودا جيرية تمتص منه ثانى أكسيد الكربون وبعد ذلك يمر الهواء فى الوعاء (٣) حيث يمتص منه الماء الذى قد يأخذه الهواء من وعاء الصودا الجيرية ويحتوى الوعاء (٢) على ماء به قليل من كربونات الصوديوم وفائدته ترطيب الهواء . إذ أنه من غير المستحسن أن يستنشق الشخص هواء جافا لمدة طويلة وكذلك يمتص الوعاء (٢) أى غازات قد تتصاعد



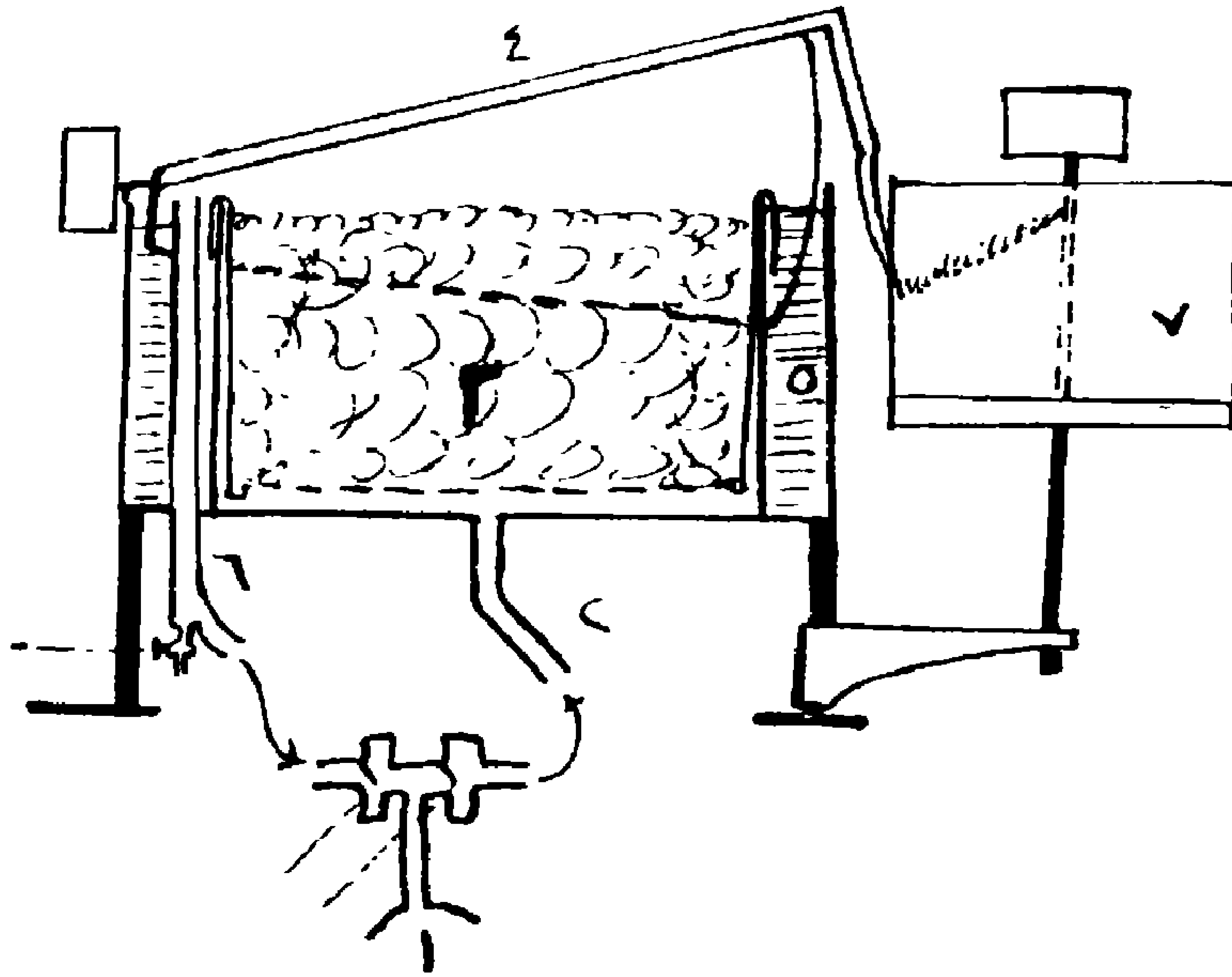
(شكل ٢٩) جهاز بندكت (عن ستارلنج)

من حامض الكبريتيك الموجود بالوعاء (٣) ثم يستنشق الشخص الهواء مرة أخرى وتتكرر هذه العملية . وفى خلال التجربة يضاف الأوكسيچين إلى الهواء من أسطوانة صغيرة متصلة بالصنبور (٧) ، بدلا من ذلك الذى يختفى من الهواء ويستعمله الجسم ويغطى الوعاء (٨) قرص من المطاط فائدته تنظيم الضغط الهوائى بداخل الجهاز . وبذا لا يقل الضغط وقت الشهيق ولا يزيد وقت الزفير لأن قرص المطاط يتحرك مع الشهيق والزفير فيقلل من حجم الهواء الموجود بالجهاز وقت الشهيق ويزيد من حجمه وقت الزفير وبذا يبقى ضغطه ثابتاً . ولهذا القرص فائدة أخرى إذ بوساطته يعرف إلى أى حد يمكن إدخال الأوكسيچين فى الجهاز .

وتقدر كمية الأوكسيچين التى يستعملها الشخص وقت التجربة بالفرق بين وزنى أنبوبة الأوكسيچين قبل وبعد التجربة . وأما كمية ثانى أكسيد الكربون التى يخرجها الجسم فتقدر بالفرق بين وزنى الوعاءين (٤و٣ معاً) قبل وبعد التجربة . وللحصول

على معامل التنفس يجب تحويل أوزان الغازات إلى أحجام (٣٢ جراما من الأوكسيچين أو ٤٤ جراما من ثانى أكسيد الكربون تساوى ٢٢,٤ لترا من الغاز) .

٢ — جهاز كروغ (Krogh's Respirometer) شكل ٣٠ يتكون هذا الجهاز من وعاء معدنى له غطاء متحرك ويملأ الوعاء أولا بالأوكسيچين ويتنفس الشخص عن طريق الصمام (١) من فمه بينما تسد أنفه بوساطة مشبك فيمر هواء الشهيق من الأنبوبة (٦) إلى رئتى الشخص ويخرج هواء الزفير إلى الأنبوبة (٢) ثم إلى الوعاء (٣) الذى يحتوى على صودا جيرية تمتص ثانى أكسيد الكربون منه ويتحرك غطاء الوعاء (٤) إلى أعلا مع عملية الزفير وإلى أسفل مع عملية الشهيق . ويحيط بالوعاء (٣) وعاء آخر (٥) تملأ المسافة بينهما بالماء . وتنغمس فى الماء أطراف الغطاء وبذا يبقى الهواء داخل الوعاء (٣) وتحت الغطاء وفى الأنابيب المتصلة بالشخص مغلقاً عن الهواء الخارجى .

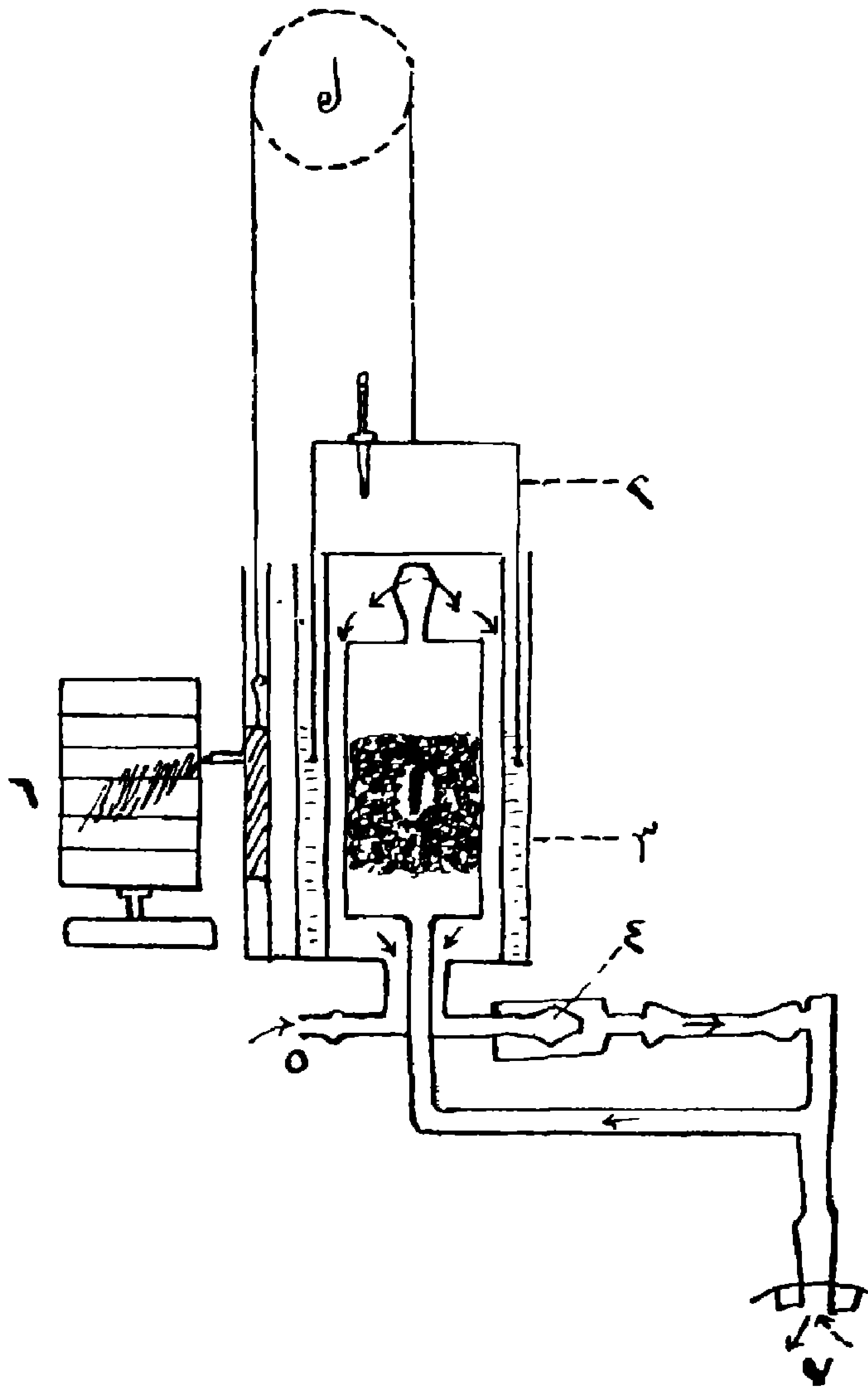


شكل (٣٠) جهاز كروغ (عن ستارلنج)

وباستهلاك الأوكسيچين بواسطة الشخص تقل كميته فى الجهاز فينخفض غطاؤه وتنخفض معه الريشة المثبتة عليه والتى تكتب على أسطوانة متحركة (٧) ومن درجة هبوط الريشة تعرف كمية الأوكسيچين التى استعملت فى وقت معين . ولا يمكن معرفة معامل التنفس بهذه الطريقة .

٣ — جهاز بندكت وروث (Benedict & Roth) شكل (٣١) . وهو أكثر الأجهزة استعمالا فى التقديرات الطبية إذ أنه سهل الاستعمال . ويتكون هذا الجهاز من

أسطوانة (١) بها صودا جيرية وتحيط بها أسطوانة أخرى (٣) وتملأ المسافة بينهما بالماء وينغمس فى الماء الذى بين الاسطوانتين أسطوانة ثالثة مقلوبة (٢) . ويملأ الفراغ الذى بين الأسطوانتين (١ و ٢) بالأوكسيجين قبل التجربة عن طريق الصنبور (٥) ثم يتنفس الشخص من الصمام (٧) من فمه بينما يسد أنفه بمشبك. ويمر هواء الزفير فى طريق الأسهم المبينة فى الشكل إلى الوعاء (١) حيث يمتص ثانى أكسيد الكربون وأما هواء الشهيق فيذهب إلى الشخص عن طريق الصمام (٤). وتتصل الأسطوانة المتحركة (٢) بوساطة خيط يمر على عجلة بريشة ترسم على أسطوانة وكلما قل الأوكسيچين فى فراغ الجهاز كلما ارتفعت الريشة . ومن سرعة ارتفاع



شكل (٣١) جهاز بندكت ورث
(عن بست وتايلور)

الريشة يمكن حساب كمية الأوكسيچين التى يستهلكها الشخص فى وقت معين . ويلاحظ عدم تغيير درجة حرارة الهواء الذى بالجهاز وقت التجربة بوساطة الترمومتر الداخل من الأسطوانة (٢) ويجب تصحيح الخطأ الذى قد ينشأ إن تغيرت درجة الحرارة وقت التجربة .

ولا تعطى هذه الطريقة كسابقتها معامل التنفس بل تحسب القيمة الحرارية للتر من الأوكسيچين (٤,٨٢٥ سعرا) باعتبار أن معامل التنفس يساوى ٠,٨٢ وهو معامل التنفس الطبيعى وقت الراحة فى حالة ما بعد الامتصاص (Post-absorptive state) (انظر صفحة ١٣٨) .

وأما فى الطرق ذات الدائرة المفتوحة يتنفس الشخص من الهواء الجوى ويجمع هواء الزفير فى وعاء مناسب . وبقياس كمية هواء الزفير فى زمن معين وبتحليله يمكن تقدير كمية الأوكسيچين التى يستهلكها الجسم وكذا معامل التنفس . ومن هذه الطرق ما يأتى :

١ — طريقة دوجلاس وفى هذه الطريقة يجمع هواء الزفير فى كيس يسمى كيس دوجلاس (Douglas Bag) شكل (٣٢) — (٤) سعته حوالى ١٠٠ لتر ويدخل الشخص قطعة من المطاط (١) فى فمه بينما يسد أنفه بمشبك ويتنفس الشخص من فمه فى الصمام (٢) ويسمح هذا الصمام للشخص أن يستنشق من الهواء الجوى بينما يمرر هواء الزفير بوساطة الأنبوبة المصنوعة من المطاط المتصلة به إلى الكيس ويسمح الصنبور (٣) باتصال أنبوبة المطاط بالكيس أو باتصالها بالهواء الجوى وفى الحالة الثانية يمر هواء الزفير عن طريق الصنبور إلى الجو ولا يجمع فى الكيس . وعند استعمال هذه الطريقة يفتح الصنبور (٣) إلى الجو أولا حتى يعتاد الشخص على التنفس فى الصمام ثم يبدأ بعد ذلك فى جمع هواء الزفير فى الكيس ويحسب الوقت بالضبط الذى يجمع فيه الهواء وبعد جمع كمية كافية من الهواء يمزج الهواء جيداً ثم تؤخذ عينة صغيرة منه للتحليل ويقاس حجم الباقى بوساطة مقياس غازات (gas meter) ويبين المثال الآتى حساب التمثيل الغذائى بهذه الطريقة .

كمية هواء الزفير فى مدة ١٠ دقائق — ٦٠,٤ لترا فى درجة حرارة ٢٠ مئوية وكان الضغط الجوى ٧٥٢ ملليمترا من الزئبق

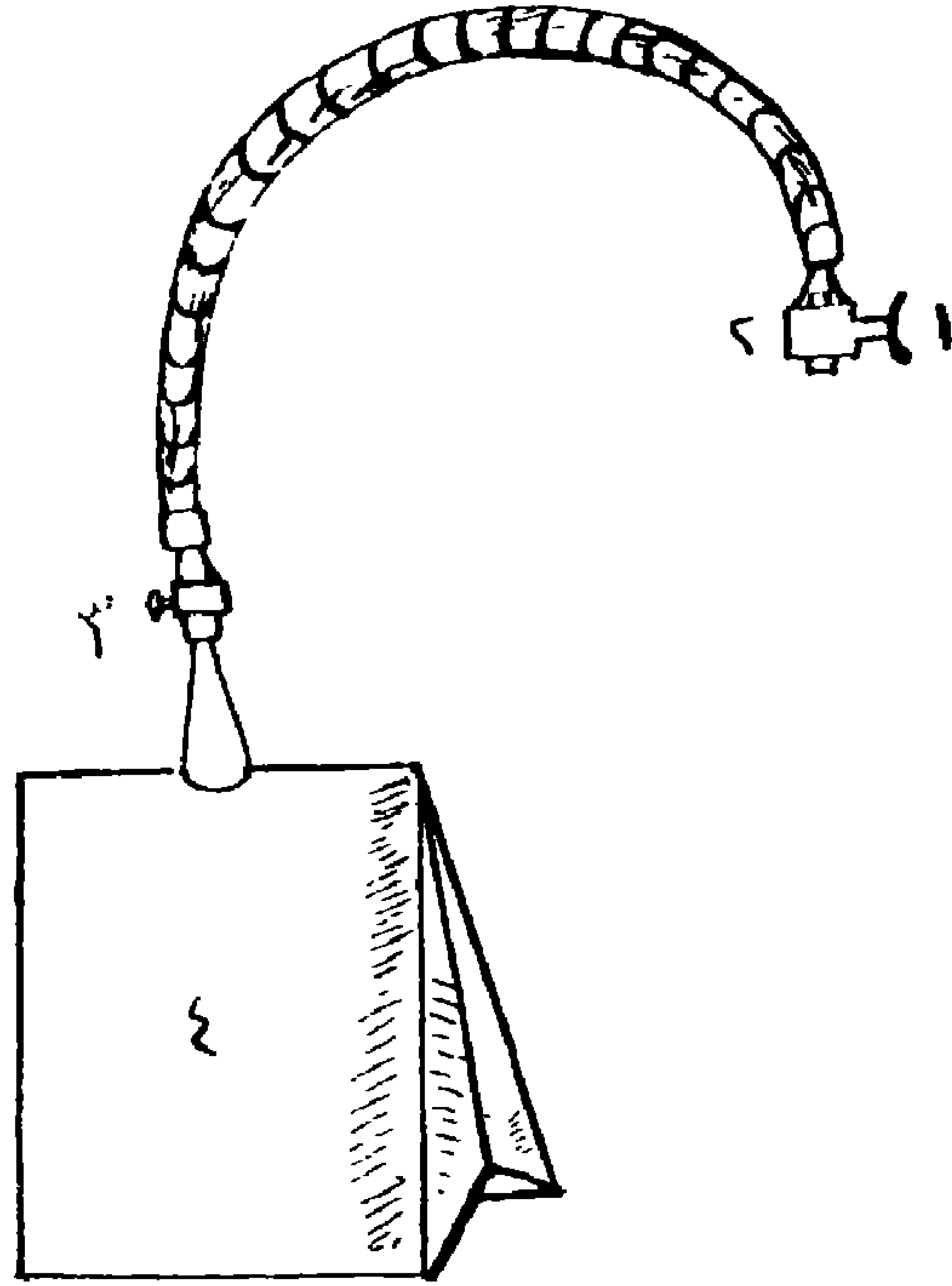
كمية هواء الزفير التى أخذت فى عينة التحليل = ٠,٢ لترا

بتحليل هواء الزفير وجد أن كل ١٠٠ سم^٣ منه يحتوى على

٤,٢٢ سم^٣ من ثانى أكسيد الكربون

١٦,٣٥ سم^٣ من الأوكسيچين

٧٩,٤٣ سم^٣ من الأزوت



شكل (٣٢) كيس دوجلاس

ولا يحلل هواء الشهيق إذ أن تركيب هواء الجو ثابتا وكل ١٠٠ سم^٣ منه تحتوى على

٠,٠٤ سم^٣ من ثانى أكسيد الكربون

٢٠,٩٦ سم^٣ من الأوكسيچين

٧٩,٠٠ سم^٣ من الأزوت

∴ كمية هواء الزفير فى درجة صفر مئوية وتحت ضغط ٧٦٠ ملليمترا من الزئبق

= (٦٠,٤ + ٠,٢) × ٣١٣ / (٢٠ + ٢٧٣) × ٧٥٢ / ٧٦٠ = ٥٤,٥٧ لترا

∴ كمية هواء الزفير فى الساعة = ٥٤,٥٧ / ١٠ × ٦٠ = ٣٢٧,٤٢ لترا

كمية ثانى أكسيد الكربون التى يخرجها الشخص فى كل ١٠٠ سم^٣ من هواء الزفير

= ٤,٢٢ − ٠,٠٤ = ٤,١٨

ولا يمكن تقدير كمية الأوكسيچين التى يستهلكها الشخص من كل ١٠٠ سم^٣ من

هواء الزفير مباشرة كما فى حالة ثانى أكسيد الكربون . وذلك لأن كل ١٠٠ سم٣ من هواء الزفير تعادل فى الواقع أكثر من ١٠٠ سم٣ من هواء الشهيق . ويستدل على ذلك بزيادة نسبة الأزوت فى هواء الزفير . والأزوت لادخل له فى عملية التنفس ولذلك دلت زيادة نسبته — مع أن كميته ثابتة — على نقص حجم هواء الزفير عن حجم هواء الشهيق . والسبب فى هذا النقص يرجع إلى أن جزءاً من الأوكسيچين الذى يستهلكه الشخص استعمل فى أكسدة الأيدروجين ولذلك لا يظهر فى هواء الزفير على شكل ثانى أكسيد الكربون . وعليه يكون حجم الأوكسيچين وثانى أكسيد الكربون معاً أقل فى هواء الزفير منه فى هواء الشهيق ولذلك زادت نسبة الأزوت فى هواء الزفير مع أن كميته ثابتة . وعليه يكون حجم هواء الشهيق الذى يعادل ١٠٠ سم٣ من هواء الزفير هو ١٠٠ × (٧٩,٤٣ / ٧٩) وهذه تحتوى على ٢٠,٩٦ × (٧٩,٤٣ / ٧٩) = ٢١,٠٧ سم٣

∴ كمية الأوكسيچين التى يستهلكها الشخص من كل ١٠٠ سم٣ من هواء الزفير =

٢١,٠٧ — ١٦,٣٥ = ٤,٧٢ سم٣

∴ معامل التنفس = (٤,١٨ / ٤,٧٢) = ٠,٨٩

والقيمة الحرارية للتر من من الأوكسيچين عند معامل التنفس ٠,٨٩ هى ٤,٩١١ سعراً حرارياً كبيراً (انظر جدول ٤)

وكمية الأوكسيجين التى استهلكها الشخص فى الساعة = (٣٢٧,٤٢ × ٤,٧٢ × ١٠) / ١٠٠٠

= ١٥,٤٥ لتراً

∴ سرعة التمثيل الغذائى للشخص فى الساعة = ١٥,٤٥ × ٤,٩١١

= ٧٥,٩ سعراً حرارياً كبيراً

فى المثال السابق حسب التمثيل الغذائى على أساس أن المواد التى تؤكسد بالجسم هى مائيات الكربون والدهن فقط إذ أن جدول (٤) يعطى القيمة الحرارية للأوكسيچين إذا استعمل كله لأكسدة مائيات الكربون والدهن مع استثناء أى تمثيل غذائى للبروتين . ولا يؤدى ذلك إلى فرق كبير فى النتيجة النهائية وأما اذا أردنا الدقة المتناهية فى تقدير سرعة التمثيل الغذائى بهذه الطريقة وجب ادخال التمثيل الغذائى للبروتين فى الحساب كما يأتى :

لنفرض فى المثال السابق أن الشخص أفرز بالبول فى ساعة التجربة ٠,٦ جم من الأزوت

ولما كان البروتين يحتوى على ١٦ ٪ من الأزوت كانت كمية البروتين التى استعملها الجسم فى الساعة = ٠,٦ × $\frac{١٠٠}{١٦}$ = ٠,٦ × ٦,٢٥ = ٣,٧٥ جم

∴ التمثيل الغذائى الناتج من البروتين فى الساعة = ٣,٧٥ × ٤,١ = ١٥,٣٧ سعراً حرارياً

ولما كان كل جرام من الأزوت يفرز بالبول يناظر ٥,٩٢٣ لترا[1] من الأوكسيجين استعملت فى اكسدة البروتين و٤,٧٥٤[1] لترا من ثانى أكسيد الكربون نتجت من أكسدة البروتين أمكننا حساب غازات التمثيل الغذائى للبروتين على حدة كما يأتى :

كمية الاوكسيچين المناظرة للبروتين = ٠,٦ × ٥,٩٢٣ = ٣,٥٥ لترا

وكمية ثانى اكسيد الكربون المناظرة للبروتين = ٠,٦ × ٤,٧٥٤ = ٢,٧٥ لترا .

ومن الحساب السابق كانت كمية الأوكسيچين الكلية المستعملة فى الساعة = ١٥,٤٥ لترا

∴ كمية الأوكسيچين المناظرة لمائيات الكربون والدهن فقط =
١٥,٤٥ — ٣,٥٥ = ١١,٩٠ لترا

وكمية ثانى أكسيد الكربون الكلية = $\frac{١٠ \times ٤,٢١٨ \times ٣٢٧,٤٢}{١٠٠٠}$ = ١٣,٦٩ لترا

∴ كمية ثانى أكسيد الكربون المناظرة لمائيات الكربون والدهن فقط = ١٣,٦٩ — ٢,٨٥ = ١٠,٨٤ لترا

∴ معامل التنفس اللا أزوتى = $\frac{١٠,٨٤}{١١,٩٠}$ = ٠,٩١١

ومن جدول (٤) تكون القيمة الحرارية للتر من الاوكسيچين = ٤,٩٣٦

∴ سرعة التمثيل الغذائى لمائيات الكربون والدهن معا = ١١,٩ × ٤,٩٣٦ = ٥٨,٧٤ سعرا حراريا كبيرا

∴ سرعة التمثيل الغذائى الكلية (پروتين + دهن + مائيات كربون) = ١٥,٣٧ + ٥٨,٧٤ = ٧٤,١١ سعرا حراريا كبيرا فى الساعة

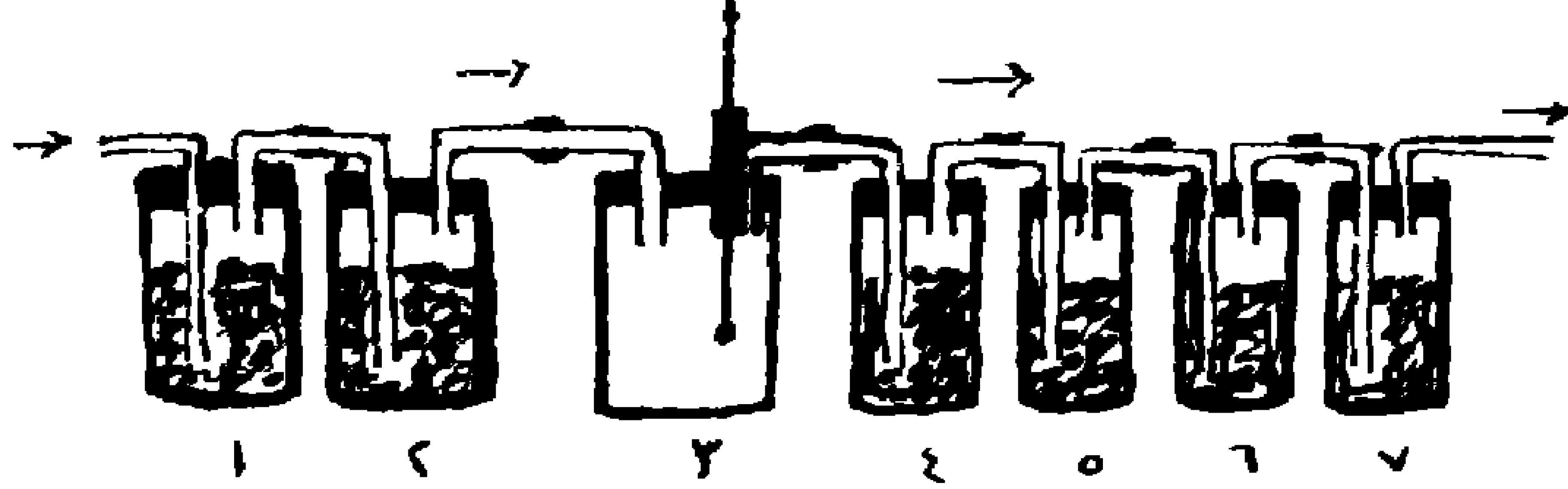
ويلاحظ أن سرعة التمثيل الغذائى عندما قدرت باستثناء التمثيل الغذائى للبروتين كانت ٧٥,٩ سعرا حراريا كبيرا فى الساعة أى أن الفرق بين الطريقتين أقل من

---

(١) هذه الأرقام قدرت تجريبيا

٣ ./. ولذلك تستعمل فى التقديرات الطبية الطريقة الاولى نظرا لسهولتها ولو أنهـا أقل دقة .

٢ — طريقة هولدين وپمبرى (Haldane & Pembrey) — وتستعمل هذه



شكل (٣٣) جهاز هولدين وپمبرى

الطريقةللحيوانات الصغيرة كالضفادع والفيران والأرانب . فيوضع الحيوان فى الوعاء (٣) — شكل ٣١ — ويمرر الهواء من وعاء إلى آخر فى اتجاه الأسهم. ويحتوى الوعاء (١) على صودا جيرية لتمتص آثار ثانى أكسيد الكربون الموجودة فى الهواء الجوى ويحتوى الوعاء (٢) على خرز مبلل بحامض الكبريتيك ليمتص بخار الماء وعليه يكون الهواء الذى يدخل فى وعاء الحيوان خاليا من ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ثم يمر الهواء فى الوعاءين (٤ و ٥) ويحتويان على حامض الكبريتيك ليمتص بخار المـاء ثم فى الوعاء (٦) حيث يمتص منه ثانى أكسيد الكربون الذى يخرجه الحيوان ثم فى الوعاء (٧) حيث يمتص منه أى بخار ماء قد يتصاعد من الوعاء ٦ من الصودا الجيرية ويتسبب مرور الهواء من وعاء إلى آخر بوساطة ايصال طرف الأنبوبة المنغمسة فى الوعاء (٧) بمضخة مائية ماصة وتقدر كمية ثانى أكسيد الكربون التى يخرجها الحيوان بالفرق بين وزنى الوعاءين (٦ و ٧) معا قبل وبعد التجربة . وكمية بخار المـاء التى تتبخر من الحيوان تساوى الفرق بين وزنى الوعاءين (٤ و ٥) معا قبل وبعد التجربة .

ولما كان وزن الحيوان قبل التجربة + وزن الأوكسيجين الذى يستهلكه = وزن الحيوان بعد التجربة + وزن بخـــار الماء الذى يتبخر منه + ثانى أكسيد الكربون الذى يخرجه أمكننا استنتاج وزن الأوكسيجين المستعمل فى مدة التجربة . ويلاحظ عند وزن الحيوان أن يوزن الوعاء (٣) بأكمله بمـا فيه الحيوان . إذ أن ذلك يمنع أى خطأ قد ينتج من تبول أو تبرز الحيوان وقت التجربة .

الباب الثانى عشر

سرعة التمثيل الغذائى

إن من أهم مميزات الحياة — بل ربما كانت الحياة نفسها — تلك التفاعلات الكيميائية المستمرة دائماً أبداً فى الجسم ، حتى إنه فى وقت الراحة التامة نجد أن أكسدة المواد الغذائية مستمرة بالجسم بمقادير معينة . وهناك ثلاثة عوامل مهمة تزيد من سرعة أكسدة المواد الغذائية بالجسم وهى :

١ — عمل أى مجهود رياضى

٢ — تناول الطعام

٣ — انخفاض درجة حرارة الجو

ولما كان قياس سرعة التمثيل الغذائى بالجسم فى غاية الأهمية من الوجهتين الفسيولوجية والمرضية ، وجب أن يكون القياس فى الأشخاص المختلفين فى ظروف متماثلة ، ذات مستوى واحد حتى تصح المقارنة . وتسمى سرعة التمثيل الغذائى فى الظروف التى انتخبت لتكون أساساً للمقارنة بسرعة التمثيل الغذائى القاعدية .

سرعة التمثيل الغذائى القاعدية

(Basal Metabolic Rate)

سرعة التمثيل القاعدية هى كمية الطاقة التى يصرفها الجسم فى مدة معينة من الزمن . ويشترط أن تقاس فى الظروف الآتية :

١ — فى حالة الراحة الجسمية والعقلية التامة لمدة نصف ساعة على

الأقل قبل بدء القياس . هذا ويجب أن يكون الشخص يقظاً غير نائم .

٢ — يجب أن تقاس الطاقة بعد آخر أكلة بمدة تتراوح بين ١٢ ساعة و ١٤ ساعة . أى فى حالة ما بعد الامتصاص . (Postabsorptive state)

٣ — يجب أن تكون درجة حرارة الجو بين ٢٠° ، ٢٥° مئوية ، أو على الأقل يكون الشخص مرتدياً ملابس مناسبة لحرارة الجو الخارجية حتى لا تدعو البرودة إلى ارتعاش بالعضلات ، أو الحرارة إلى إفراز العرق .

والمتبع عند تقدير سرعة التمثيل الغذائى القاعدية لشخص أن يطلب منه ألا يقوم بأى مجهود رياضى مضن لمدة ٢٤ ساعة قبل القياس وكذلك يتناول عشاءً خفيفاً لا يحتوى إلا على كمية قليلة من البروتين ويكون ذلك قبل الساعه السابعة من مساء اليوم الذى يسبق التجربة ولا يتناول أى طعام بعد ذلك. ثم تعمل التجربة فى صباح اليوم التالى حوالى الساعة التاسعة . وعند حضور الشخص إلى المعمل يطلب منه أن يستريح مضطجعاً لمدة نصف ساعة على الأقل قبل القياس . ويلاحظ أن تكون مثانة الشخص خالية وأن لا يكون الشخص راقداً فى مجرى تيار هوائى إذ أن هذه العوامل قد تسبب ارتفاعا فى سرعة التمثيل الغذائى القاعدية . هذا ولا يمكن الاعتماد بأى حال من الأحوال على نتيجة تجربة واحدة تعمل على الشخص بل يجب عمل ثلاثة تجارب على الأقل فى أيام مختلفة ومقارنة النتائج قبل إعطاء أى تقرير عن سرعة التمثيل الغذائى القاعدية .

والتمثيل الغذائى فى هذه الظروف هو عبارة عن الطاقة التى تلزم للعمليات الحيوية ، مثل حفظ حرارة الجسم ، وضربات القلب ، وحركات التنفس .

ولو قورنت الحيوانات المختلفة ذات الدم الحار لوجد أنه كلما زاد وزن الحيوان زادت سرعة التمثيل الغذائى للجسم كله ، وقلت سرعة التمثيل الغذائى للكيلو جرام الواحد من وزنه . وأما لو كانت المقارنة بالنسبة لسطح الجسم

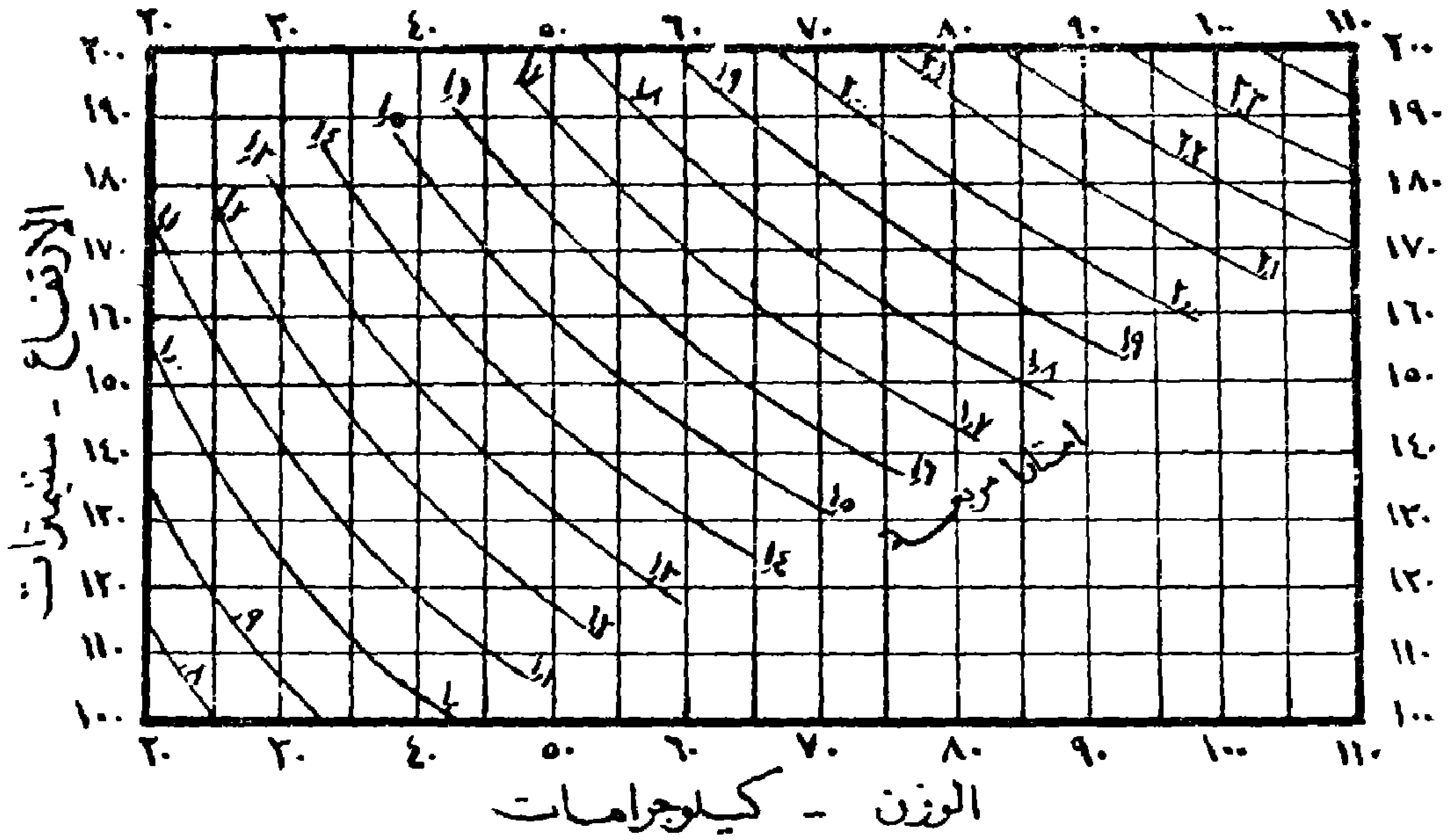
لوجد أن سرعة التمثيل الغذائى متماثلة تقريباً فى الحيوانات المختلفة بما بينها الانسان بالنسبة للمترالمربع من سطحها . وهو تقريباً نحو ١٠٠٠ سعر حرارى لـكل متر مربع من سطح الجسم فى اليوم الواحد . ويبين (جدول ٥) هذه العلاقات .

جدول (٥)

الحيوان	وزن الجسم بالـكيلو جرام	عدد الأسعار الحرارية المولدة فى اليوم: لـكل كيلو جرام واحد	عدد الأسعار الحرارية المولدة فى اليوم: لـكل متر مربع من سطح الجسم
الحصان	٤٤١	١١,٣	٩٤٨
الخنزير	١٢٨	١٩,١	١٠٧٨
الانسان	٦٤,٣	٣٢,١	١٠٤٢
الـكلب	١٥,٢	٥١,٥	١٠٣٩
الوزة	٣,٥	٦٦,٧	٩٦٩
الدجاجة	٢	٧١	٩٤٣
الفار	٠,٠١٨	٢١٢	١١٨٨

ولا تختلف هذه القاعدة بالنسبة للأشخاص المختلفين فان سرعة التمثيل الغذائى للشخص البدين الطويل أقل من سرعتها للشخص النحيف القصير إذا قورنت بالنسبة للـكيلوجرام الواحد . ولـكنها تـكون متماثلة عند المقارنة بالنسبة للمتر المربع من سطح الجسم . وعليه وجب أن تقاس السرعة بالنسبة لسطح الجسم حتى تصح المقارنات الطبية .

ويمكن حساب سطح الجسم بالمتر المربع لأى شخص إذا عرف وزنه وارتفاعه وذلك من الرسم التخطيطى الآتى (شكل ٣٤) .



(شكل ٣٤) عن دو بوا (Du Bois)

رسم تخطيطى لتقدير سطح الجسم بالأمتار المربعة إذا عرف الوزن والارتفاع.

العوامل التى تؤثر فى سرعة التمثيل الغذائى القاعدية

١ — عوامل فسيولوجية :

١ — السن : تكون السرعة قليلة عند الأطفال بعد الولادة مباشرة (٣٠ سعرا حراريا كبيرا لكل متر مربع من سطح الجسم فى الساعة). وتكون أقل من ذلك فى الأطفال الذين يولدون قبل اتمام مدة الحمل. وتنخفض السرعة فى الأسبوع الأول من حياة الطفل قليلا ولكنها ترتفع تدريجياً بعد ذلك وتصل إلى أعلى سرعة طبيعية فى سن سنة إلى سنتين (٧٠ سعراً للمتر المربع فى الساعة) ثم تقل تدريجيا بعد ذلك حتى سن العشرين حيث تكون حوالى ٤٠ سعرا حراريا للمتر المربع فى الساعة. وتبقى ثابتة أو تقل قليلا بين سن العشرين والأربعين، وبعد الأربعين تقل

فى كل عشرة سنوات بمعدل سعرا حراريا للمتر المربع فى الساعة . وأما بعد سن السبعين فتقل بسرعة وقد قدر التمثيل الغذائى القاعدى لامرأة عمرها ١٠٧ سنة بمقدار ٢٢,٢٥ سعرا حراريا للمتر المربع فى الساعة .

وقد قيل إن السرعة تزيد وقت البلوغ — أى عند بدء الحيض فى الأناث ونمو الأعضاء التناسلية الخارجية فى الذكور — ولكن هذه الزياده مشكوك فى صحتها .

٢ — الجنس : تقل سرعة التمثيل الغذائى القاعدية فى الأناث من ٧ — ٩ ٪ عن الذكور فى السن المناظرة . ويبدو أن هذا الفرق ليس مسببا من الهرمونات التناسلية إذ يوجد فى الأطفال قبل البلوغ ؛ وقد يكون سببه الدهن المخزون بمقادير أكبر تحت الجلد فى الأناث عن الذكور إذ يساعد هذا الدهن على حفظ حرارة الجسم .

ويبين (جدول ٦) سرعة التمثيل الغذائى القاعدية فى الأناث والذكور فى الأعمار المختلفة من سن ١٠ سنوات إلى سن ٧٠ سنة مقدرة لكل متر مربع من سطح الجسم .

جدول (٦)

السن	ذكور		إناث	
سنوات	سعر فى الساعة	سعر فى اليوم	سعر فى الساعة	سعر فى اليوم
١٠ — ١٢	٥١,٥	١٢٣٦	٥٠	١٢٠٠
١٢ — ١٤	٥٠	١٢٠٠	٤٦,٥	١١١٦
١٤ — ١٦	٤٦	١١٠٤	٤٣	١٠٣٢
١٦ — ١٨	٤٣	١٠٣٢	٤٠	٩٦٠
١٨ — ٢٠	٤١	٩٨٤	٣٨	٩١٢
٢٠ — ٣٠	٣٩,٥	٩٤٨	٣٧	٨٨٨
٣٠ — ٤٠	٣٩,٥	٩٤٨	٣٦,٥	٨٧٦
٤٠ — ٥٠	٣٨,٥	٩٢٤	٣٦	٨٦٤
٥٠ — ٦٠	٣٧,٥	٩٠٠	٣٥	٨٤٠
٦٠ — ٧٠	٣٦,٥	٨٧٦	٣٤	٨١٦

٣ — حرارة الجو : تزداد السرعة قليلا فى المناطق الباردة عن المناطق الاستوائية .

٤ — الغذاء : تزداد السرعة قليلا عند من يأكلون كميات كبيرة من المواد البروتينية. ويجب التمييز بين هذه الزيادة البسيطة فى السرعة القاعدية التى تنتج من أكل كميات كبيرة من البروتين لمدد طويلة وبين التأثير المباشر للبروتين فى زيادة أكسدة المواد الغذائية الذى يحدث بسرعة بعد الأكل (انظر ص ١٤٥) . هذا ويقال إن السرعة فى النباتيين أقل منها فى آكلى اللحوم .

٥ — النوع : تقل السرعة فى الشعوب الشرقية — كالصينية والهنود — عنها فى الأمريكيين . ويبدو أن هذا اختلاف نوعى وليس مسبباً عن اختلاف فى الغذاء أو فى درجات الحرارة ، إذ وجد أن بعض البنات الصينيات اللواتى يعشن فى أمريكا فى نفس الظروف الغذائية والجوية ، تقل سرعة التمثيل الغذائية فيهن بمقدار ٩٪ عن زميلاتهن الأمريكيات .

٦ — العادات الجسمانية : تزداد السرعة قليلا فى الرياضيين عنها فى غير الرياضيين . وقد وجد لسك (Lusk) أن حبس الكلاب فى الأقفاص يقلل من سرعة التمثيل الغذائى القاعدية عندهم .

٧ — الحمل : تزيد السرعة عند نهاية الحمل . ويظهر أن هذه الزيادة نتيجة لأكسدة المواد الغذائية فى أنسجة الجنين وليست مسببة من تأثير خاص للحمل الطبيعى على التمثيل الغذائى .

٨ — النوم : تقل سرعة التمثيل الغذائى القاعدية فى النوم بقدر ١٠٪ عن اليقظة .

ب — **عوامل كيميائية** : تزداد سرعة التمثيل الغذائى عند حقن الشخص بالمواد الكيميائية الآتية :

كافيين ، أدرينالين ، ثيروكسين ، دينيتروفينول

حـ — عوامل مرضية:

تقل سرعة التمثيل الغذائى القاعدية فى الأحوال الآتية :

١ — قلة التغذية والصيام : فى تجارب قام بها بندكت على عدة أشخاص كانت القيمة الحرارية لطعامهم اليومى تتراوح بين ٣٢٠٠ و ٣٦٠٠ سعر حرارى كبير ثم خفضت إلى ١٤٠٠ سعر فى اليوم قل وزن هؤلاء الأشخاص حوالى ١٢ ٪ وفى الوقت نفسه قلت سرعة التمثيل الغذائى القاعدية بمقدار ١٨ ٪ . وكذلك وجد تزونتز وليفى (Zunz & Loewi) أن سرعة التمثيل الغذائى القاعدية عندهما قلت بمقدار ١٥ و١٢ ٪ فى حرب ١٩١٤—١٩١٨ عند قلة التغذية .

هذا وإذا قل وزن الجسم كثيراً من الصيام ربما زادت سرعة التمثيل الغذائى القاعدية إلى المستوى الطبيعى أو أكثر .

٢ — فى مرض الضعفة الدرقية أو الميكسوديما (Myxoedema) . وقد تقل السرعة بقدر ٤٠ ٪ فى هذا المرض .

٣ — فى مرض ضعف الغدة فوق الكلية (Suprarenal) أو مرض أديسون (Addison's disease) . وقد تقل السرعة فى هذا المرض بقدر ٢٥ ٪ .

٤ — فى حالات السمنة الناتجة من اضطراب فى عمل الغدة النخامية (Pituitary) وقد يكون ذلك ناتجاً من قلة إفراز الفص الأمامى لهذه الغدة للهرمون الذى ينبه الغدة الدرقية (Thyrotorpic) .

٥ — فى التهاب الكلى الدهنى (L!poid nephrosis) .

وترتفع سرعة التمثيل الغذائى القاعدية فى الحالات الآتية :

١ — زيادة إفراز الغدة الدرقية (Hyperthyroidism) . كما يحدث فى مرض الجوتر الجحوظى (Exophthalmic goitre) . وقد تزيد السرعة

فى هذا المرض بمقدار ١٠٠ ٪ إذ أن الهرمون ثيروكسين (Thyroxine) من أكبر المنبهات لأكسدة المواد الغذائية بالجسم .

٢ — فى زيادة إفراز الغدة فوق الكلية . إذ أن الأدرينالين ينبه أكسدة المواد الغذائية .

٣ — فى زيادة إفراز الغدة النخامية وربما تتج ذلك من زيادة إفراز الهرمون المنبه للغدة الدرقية .

٤ — فى الحميات تزيد السرعة بقدر ١٣ ٪ لكل ارتفاع فى درجة حرارة الجسم بمقدار درجة واحدة مئوية . وذلك يثبت أن التفاعلات الكيميائية تتأثر بارتفاع درجة الحرارة فى جسم الإنسان كما تتأثر تماماً فى أنبوبة اختبار عند رفع درجة الحراره .

٥ — تزداد السرعة لسبب غير معروف فى كثير من أمراض الدم مثل مرض الليوكيميا (Leukaemia) أى الدم الأبيض حيث تزيد كرات الدم البيضاء كثيراً . ومرض البوليسيثيميا (Polycythaemia) . أى مرض زيادة كرات الدم الحمراء وقد تكون الزيادة فى هذه الأمراض كبيرة جداً — بمقدار ١٠٠ ٪

٦ — فى حالات هبوط القلب (Heart failure) تزيد السرعة لسبب غير معروف .

الباب الثالث عشر

العوامل التى تؤثر على سرعة التمثيل الغذائى

ذكرنا فى الباب السابق أن هناك ثلاثة عوامل مهمه تزيد سرعة التمثيل الغذائى . وهى الطعام والمجهود الرياضى وانخفاض درجة حرارة الجو . وعند منع تأثير هذه العوامل يصبح التمثيـل الغذائى قاعدياً وتصح مقـارنته عند الأشخاص المختلفين . وسندرس فى هذا الباب تأثير هذه العوامل الثلاثة.

تأثير الطعام على سرعة التمثيل الغذائى

الفعل النوعى الديناميكى للطعام

(Specific Dynamic Action)

إذا تعاطى إنسان كمية من اللحم ابتدأ تمثيله الغذائى يزداد بعد ساعة ، ويستمر فى الزيادة حتى يصل إلى درجة عالية فى بحر ثلاث ساعات ، ثم يبقى عالياً لعدة ساعات بعد الطعام . وتسمى هذه المقدرة للطعام على تنبيه سرعة التمثيل الغذائى بالفعل النوعى الديناميكى . والبروتينات أشد أنواع الأطعمة تنبيهاً للتمثيل الغذائى . فلو أعطى شخص طعاماً قيمته الحرارية ١٠٠ سعر حرارى ازداد تمثيله الغذائى بمقدار ٣٠ سعراً إن كان الطعام بروتينا فى حين يزداد ٦ سعراً إن تكون الطعام من مائيات الكربون و٤ سعراً فقط إن تكون من الدهن .

وهذه الحرارة الزائدة حرارة ضائعة لا يستفيد الجسم منها شيئاً . ففى حالة البروتينات لا يمكن الجسم أن يحولها إلى طاقة ميكانيكية أو إلى أى نوع آخر من الطاقة ذو فائدة للجسم وأما فى حالات مائيات الكربون والدهون

فهناك بعض البرهان على أن الحرارة الزائدة الناتجة عن الفعل الديناميكى النوعى قد تستعمل فى المجهود العضلى .

ولكى يظهر تأثير البروتينات فى تنبيه التمثيل الغذائى جيداً يجب أن تكون حرارة الجو حوالى درجة ٣٣ مئوية إذ أنه كلما قلت حرارة الجو عن هذه الدرجة قل الفعل الديناميكى النوعى حتى يختفى تماماً فى الجو البارد (أنظر جدول ٧). إذ أن برودة الجو وحدها تنبه التمثيل الغذائى وتزيد من أكسدة المواد الغذائية كثيراً . وعلى ذلك فان الحرارة الزائدة من الفعل النوعى الديناميكى تستعمل لحفظ حرارة الجسم فى الجو البارد بدلا من زيادة الحرارة المفقودة . وتفسر هذه النقطة الضيق الذى يشعر به الانسان فى الصيف بعد أكل كميات كبيرة من المواد التى تحتوى على البروتينات بكثرة كاللحم والبيض ؛ فى حين أنه لو أخذت نفس هذه الكميات فى الشتاء كان لها تأثيراً حسناً .

وقد عملت تجارب عديدة للكشف عن سبب الفعل النوعى الديناميكى للطعام ؛ وللآن لا يعرف السبب تماماً ولكن كشف البحث عن بعض النقط المتعلقة بالموضوع ومنها :

١ — لا تنتج زيادة التمثيل الغذائى من زيادة عمل القناة أو الغدد الهضمية وذلك للأسباب الآتية :

(ا) أعطيت الكلاب عظاما كما أعطيت مسهلات لتنبيه حركات الأمعاء ولكن لم يؤد ذلك إلى زيادة تذكر فى سرعة التمثيل الغذائى .

(ب) أعطيت حيوانات شوربة اللحم وهى تدر إفراز العصير المعدى كثيراً ولكن لم ينتج عن ذلك زيادة تذكر فى سرعة التمثيل الغذائى .

(ح) حقنت الأحماض الأمينية مباشرة فى الدم — وبذلك استثنى أى تنبيه للقناة أو الغدد الهضمية — ومع ذلك زادت سرعة التمثيل الغذائى كما لو أعطيت هذه الأحماض على شكل بروتين فى الطعام .

٢ — وجد أنه ليست للقيمة الحيوية للبروتين أى علاقة بفعله الديناميكى

النوعى فمثلا كان الجيلاتين وزلال اللبن متساويين من حيث تنبيههما لسرعة التمثيل الغذائى . ولكن نسبت معظم الزيادة للأحماض الأمينية الآتية : — جليسين وألانين وليوسين وحمض جلوتاميك وتيروزين وفينيل الانين. ويقال إن الأحماض الأمينيه الباقية ليس لها تأثير .

٣ — ليس للأحماض الأمينية التى تستعمل بالجسم لبناء بروتوبلازم جديد فى حالات النمو أو الحمل أو النقاهة أى فعل ديناميكى نوعى وكل التأثير ينتج من الأحماض الأمينية التى تُطرد مجموعاتها الأمينية بالجسم .

٤ — ليس للغدد الصماء دخل فى سبب الفعل الديناميكى النوعى إذ أنه وجد أن للأحماض الأمينية نفس التأثير إذا حقنت فى حيوان مستأصل منه الغدة الدرقية أو الغدة النخامية أو إذا حقنت فى حالات زيادة إفراز هذه الغدد بالإنسان .

٥ — ويقال إن الفعل النوعى الديناميكى يقل فى حالات السمنة البسيطة (Simple Obesity) ويزيد فى حالات التغذية الناقصة (Undernutrition) .

٦ — يقل الفعل النوعى الديناميكى للأحماض الأمينية كثيراً بعد استئصال الكبد ويقول بعضهم أنه يختفى .

وقد قدمت عدة نظريات لتفسير سبب الفعل النوعى الديناميكى منها :

أولا : تنبيه الأحماض الأمينية نفسها — أو الأحماض الكيتونية التى تنتج منها بعد طرد مجموعات الأمين بوساطة الكبد — أنسجة الجسم لتؤكسد وقوداً أكثر من الذى يستعمل فى التمثيل الغذائى القاعدى وليس من الضرورى أن يكون الوقود المستعمل أحماضاً أمينية بل قد يكون أى مادة أخرى موجودة .

ثانياً : تحويل الأحماض الأمينية إلى جلوكوز ثم الى جليكوجين عملية مصحوبة بامتصاص الحرارة (Endothermic) ويحصل الجسم على الطاقة اللازمة لهذه العملية من أكسدة المواد الغذائية . ويظن أن المادة التى تؤكسد هى الجلوكوز إذ

أن معامل التنفس يزداد وقت الفعل الديناميكى النوعى . ولذلك قدمت النظرية أن بعضاً من الطاقة الناتجة من أكسدة المواد الغذائية يستعمل فى تحويل الأحماض الأمينية إلى جليكوچين بينما يظهر البعض الآخر بشكل حرارة مفقودة وهى التى تكون الفعل النوعى الديناميكى . ويقدم ضد هذه النظرية أن فينيل ألانين من أقوى الأحماض الأمينية فى التأثير على سرعة التمثيل الغذائى ولو أنه لا يتحول إلى جلوكوز بالجسم بالمرة .

ثالثاً — يمكن تفسير من ٢٥٪ إلى ٦٥٪ من الفعل النوعى الديناميكى بالطاقة اللازمة للكبد لتكوين البولينا وللكلى لإفرازها . فمثلا إذا حقن بحيوان خلات الصوديوم أو لكتات الصوديوم لا يزيد التمثيل الغذائى إلا قليلا بينما إذا استعملت الأملاح النشادرية لهذه الأحماض التى تتحول بالجسم إلى بولينا زادت سرعة التمثيل الغذائى كثيراً . ولكنه يقدم ضد هذه النظرية أن كل الأحماض الأمينية تكون بولينا بالجسم مع أن سرعة التمثيل الغذائى لا تزيد إلا بستة منها فقط .

نستخلص مما تقدم أنه مع الأبحاث العديدة التى عملت فى هذا الموضوع لا يمكن للآن إعطاء أى رأى فاصل عن السبب الحقيقى للفعل الديناميكى النوعى للبروتين . وأما فى حالة مائيات الكربون فربما تسبب الفعل النوعى الديناميكى من الطاقة اللازمة لتحويل سكر العنب إلى جليكوچين . ولا يختفى الفعل النوعى الديناميكى لمائيات الكربون بعد استئصال الكبد . وليس هناك أى تفسير لتأثير الدهن وربما نتج فعله النوعى الديناميكى من زيادة فى أكسدة الدهن بالجسم .

تأثير المجهود الرياضى على التمثيل الغذائى العام

المجهود الرياضى أقوى وأشد نشاط ممكن أن يحدث بالجسم . فبينما يستعمل الشخص ٢٥٠ سم^3 من الأوكسيچين فى الدقيقة وقت الراحة

تزيد هذه الكمية وقت المجهود الرياضى الشديد عدة مرات وقد تبلغ أربعة لترات من الأوكسيچين فى الدقيقة وبديهى أن ذلك يدعو إلى زيادة كبيرة فى عمل القلب وعضلات التنفس وسنختص فى هذا الباب بتأثير المجهود الرياضى على التمثيل الغذائى فقط وأما تأثيره على بقية وظائف الجسم فله باب آخر بالجزء الثانى .

ليس من الضرورى وجود الأوكسيچين أو الدورة الدموية كى تنقبض العضلات ، إذ أن انقباضها لاهوائى ؛ فاذا انتهى الانقباض احتاجت إلى الأوكسيچين كى تشفى من تأثير الانقباض وتعود إلى حالتها الأصلية . وعلى ذلك فوجود الأوكسيچين لازم للشفاء (recovery) ولكنه غير أساسى للانقباض نفسه ، إذ أن بالعضلات عمليات كيميائية تمكنها من أن تنقبض لاهوائياً مع صرف مقادير كبيرة من الطاقة ولذلك يقال إن العضلات وقت انقباضها يتراكم عليها دين من الأوكسيچين (Oxygen Debt) تدفعه وقت الشفاء . فمثلا يحتاج الجسم إلى ستة لترات من الأوكسيچين تقريبا كى يقوم بسباق المائة متر. ويقطع الرياضى هذه المسافة فى عشرة ثوان تقريباً أو أقل ؛ وكثيراً مايقوم الرياضى بكل المجهود مع إيقاف تنفسه إذ يظن البعض أنه إذا أوقف التنفس وجعل الصدر صلباً أمكنه أن يتم السباق على وجه أكمل مما لو كان الصدر متحركا ، وحتى إذا تنفس الشخص وقت السباق فانه لايستطيع بأى حال أن يقدم لعضلاته كل ماتحتاجه من الأوكسيچين فى ذلك الوقت القصير وذلك لأنه ليس فى مقدرة عمليات التنفس والدورة الدموية أن تقدم للعضلات أكثر من أربعة لترات أوكسيچين فى الدقيقة بأى حال من الأحوال. وهكذا نرى ديناً من الأوكسيچين يتراكم على الجسم وقت السباق . ويدفع الجسم هذا الدين عند انتهاء المجهود الرياضى .

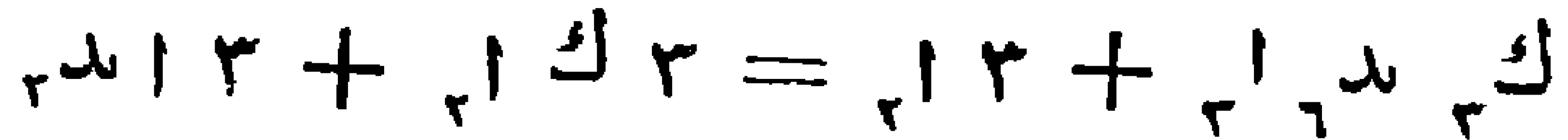
ويمكن حساب دين الأوكسيچين بتقدير الزيادة فى ما يستهلكه الجسم

من الأوكسيجين وقت الشفاء بعد المجهود الرياضي عما يستهلكه فى مدة من الراحة مساوية لمدة الشفاء ، وقد تطول مدة الشفاء بعد المجهود الرياضي إلى ساعة أو ساعة ونصف أو أكثر . والطريقة بالاختصار هي أن يجمع هواء الزفير طول مدة الشفاء حتى يرجع الجسم إلى حالته العادية وبتحليله يمكن معرفة كل كمية الأوكسيچين التي تستهلك وقت الشفاء ويطرح منها الكمية التي يستعملها الجسم فى مدة مماثلة من الراحة وقد وجد بهذه الطريقة أن أكبر دين من الأوكسيچين تراكم بجسم الرياضيين هو ١٨ لتراً تقريباً .

سبب دين الاوكسيچين : يحصل الجسم على معظم دين الأوكسيچين من عملية تحويل الجليكوچين الموجود بالعضلات إلى حامض اللبنيك وقت الانقباض إذ يعطى هذا التحويل طاقة وحرارة (exothermic) بينما يتم بدون وجود الأوكسيچين ولتراكم حامض اللبنيك فى الدم فائدة عظيمة فى تنبيه التنفس والدورة الدموية وقد تصل كميته فى الدم إلى ٠,٢ من الجرام فى مائة سنتيمتر مكعب وعند وجود الأوكسيچين يتأكسد حوالى ⅕ حامض اللبنيك المتكون ويستعمل جزء من الطاقة الناشئة فى تحويل الأربعة الأخماس الباقية إلى جليكوچين ثانية يمكن استعماله مرة أخرى بوساطة العضلات . هذا وهناك عمليات كيميائية أخرى — كتحويل الفوسفاچين إلى كرياتين وفوسفات — تحدث بالعضلات وقت انقباضها وهى عملية لا هوائية أيضاً وتنتج طاقة بالعضلات ولكنها لا تسبب جزءاً كبيراً من دين الأوكسيچين وذلك لأن مقاديرها أقل من مقادير الجليكوچين وفضلا عن ذلك فإنه يمكن لجزء كبير من الكرياتين والفوسفات المتكونين أن يتحدا لا هوائياً لتكوين الفوسفاچين مرة أخرى ؛ وتحصل العضلات على الطاقة اللازمة لهذا التحويل مما ينتج بها من الطاقة من تحويل الجليكوچين إلى حامض اللبنيك — وعليه فان تحويل الجليكوچين إلى حامض اللبنيك هو السبب الأكبر فى الحصول على دين الأوكسيچين ولذلك يمكن حساب كميات حامض اللبنيك الموجودة

بالجسم إذا عرف مقدار دين الأوكسيچين كالآتى :

من المعادلة الآتية نرى أن كل جزىء من حامض اللبنيك يحتاج إلى ثلاثة جزيئات أوكسيچين لأكسدته إلى ثانى أكسيد كربون وماء .



ولما كانت أكسدة جزىء واحد من حامض اللبنيك مصحوبة بتحويل أربعة جزيئات أخرى إلى جليكوچين[١] فإننا نرى أن استعمال ثلاثة جزيئات من الأوكسيچين وقت الشفاء تمحو من الدم خمسة جزيئات من حامض اللبنيك .

∴ كل جزىء من الأوكسيچين يمحو من الدم ٥/٣ جزىء من حامض اللبنيك

∴ كل وزن جزيئى من الأوكسيچين يمحو من الدم ٥/٣ وزن جزيئى من حامض اللبنيك .

∴ كل ٢٢,٤ لتراً من الأوكسيچين تمحو من الدم ١٥٠ جراماً من حامض اللبنيك .

أى أن كل لتر من دين الأوكسيچين يمحو من الدم حوالى ٧ جرامات حامض اللبنيك .

هذا ويلاحظ أن أكسدة حامض اللبنيك تحصل أيضاً وقت المجهود الرياضى فإذا زاد تكون حامض اللبنيك بواسطة العضلات عن محوه من الدم بواسطة أكسدته تراكم حامض اللبنيك وتراكم دين الأوكسيچين حتى يصل إلى حده الأعلى وعندئذ لا يستطيع الجسم أن يستمر فى المجهود .

الحالة الثابتة (Steady state) : عند البدء فى المجهود الرياضى يتكون حامض اللبنيك فينبه التنفس والدورة الدموية وتزداد كمية الأوكسيچين المستعملة وكلما اشتد المجهود الرياضى زاد حامض اللبنيك وزاد استعمال الأوكسيچين فاذا لم يكن المجهود الرياضى شديداً جداً نصل الى حالة تكون فيها كمية حامض اللبنيك التى تتكون بالعضلات فى الدقيقة مساوية للكمية التى تمحى بواسطة

---

(١) انظر باب التغييرات الكيميائية التى تحدث بالعضلات وقت انقباضها بالجزء الثانى

الأكسدة والتحويل ثانية الى جليكوجين فى نفس الوقت وبذا تبقى كمية حامض اللبنيك فى الدم وكمية دين الاوكسيچين ثابتتين مع استمرار المجهود الرياضى ، وفى هذه الحالة يمكن للشخص أن يستمر فى مجهوده مدة طويلة بلا تعب . ولا يمكن الحصول على هذه الحالة الثابتة إلا إذا كان مايحتاجه المجهود الرياضى من الأوكسيچين لايزيد عن لترين فى الدقيقة .

الوقود الذى تستعمله العضلات فى المجهود الرياضى : فى التجارب التى عملت على عضلات مفصولة من الحيوانات ذوات الدم البارد كالضفادع وجد أنه عند ما تنقبض العضلات إلى درجة التعب يختفى الجليكوجين الذى بها بينما تبقى كمية الدهن ثابتة . هذا وقد أمكن تأجيل حدوث التعب بهذه العضلات إذا قدم إليها الجلوكوز ومنع تراكم حامض اللبنيك بها بوساطة تنبيهها فى محلول حافظ للتفاعل Buffered solution . يستنتج من هذه التجارب أن هذه العضلات المفصولة تستعمل مائيات الكربون وقوداً لانقباضها .

وقد عملت تجارب أخرى على عضلات الثدييات ولكنها لم تؤدّ إلى مثل هذه النتيجة فقد حللت كمية الأوكسيچين وثانى أكسيد الكربون فى الدم الشريانى والوريدى للعضلات ووجد أن معامل تنفس العضلات فى كثير من الأحوال ينقص عن الوحدة مما يدل على أن مائيات الكربون ليست الوقود الوحيد للعضلات . هذا وقد أمكن دراسة نفس الموضوع فى جسم الانسان بوساطة تقدير معامل التنفس للتمثيل الغذائى الزائد والذى ينتج من المجهود الرياضى (Excess R. Q. of exercise) وذلك بجمع كل هواء الزفير طول مدة المجهود الرياضى ومدة الشفاء منه وتقدير كمية الأوكسيچين التى استعملت فى هذه المدة وكمية ثانى أكسيد الكربون التى نتجت عنها ثم تطرح من هذه الكميات كميات الأوكسيچين وثانى أكسيد الكربون التى يستعملها



الجسم فى مدة من الراحة مساوية لمدة المجهود والشفاء. وبذا يمكن الحصول على معامل التنفس للتمثيل الغذائى الزائد (Excess R. Q.) والذى ينتج من المجهود الرياضى نفسه. فمثلا لنفرض أن الشخص يستهلك وقت الراحة ٢٥٠ سم٣ من $أ_٢$ ويخرج ٢٠٠ سم٣ من ك $أ_٢$ فى الدقيقة؛ فى حين أن متوسط ما يستهلكه وقت المجهود الرياضى والشفاء منه ١٢٥٠ سم٣ من $أ_٢$ ومتوسط ما يخرجه ١١٠٠ سم٣ من ك $أ_٢$ فى الدقيقة، كان معامل تنفس التمثيل الغذائى الزائد بسبب المجهود الرياضى (Excess R. Q.)

$$= \frac{١١٠٠ - ٢٠٠}{١٢٥٠ - ٢٠٠} = ٠,٩$$

وباتباع هذه الطريقة وجد أنه ليس من اللازم أن يكون الوقود المستعمل للمجهود الرياضى مائيات الكربون إذ تستعمل العضلات الدهن أيضا. وتتوقف الكمية المستعملة من هذين النوعين على مدة المجهود الرياضى وشدته وعلى ما يحتويه الجسم من مائيات الكربون والدهن عند عمل المجهود، ويظهر أن العضلات تفضل استعمال مائيات الكربون إن وجدت.

فإذا كان المجهود شديداً قصير المدة — كما يحدث فى مسابقات المائة متر مثلا — كان معامل التنفس حوالى ١، مما يدل على أن الوقود المستعمل فى المجهود هو مائيات الكربون. أما إذا كان المجهود شديداً ومستمراً — كما يحدث فى المسابقات الطويلة — فيبدأ معامل التنفس عاليا مما يدل على استعمال مائيات الكربون ثم ينقص تدريجياً، وذلك لأن كمية النشاء الحيوانى المخزون بالكبد تستعمل تدريجياً، وعند ما تقل يستعمل الجسم الدهن كوقود للمجهود الرياضى. أما إذا كان المجهود الرياضى بسيطاً ويمكن استمراره ساعات — كالمشى مثلا — كان معامل التنفس حوالى ٠,٨ — ٠,٨٥، مما يدل على احتراق مزيج من مائيات الكربون والدهون.

وإذا قام شخص بمجهود رياضى وهو صائم أو إذا كان الشخص مريضا

بالبول السكرى وكان كبده خالياً من النشاء الحيوانى كان معامل التنفس الزائد للمجهود حوالى ٠,٧١ — ٠,٧٣ ، مما يثبت أكسدة الدهون . أما إذا أعطى الشخص الصائم قبل المجهود الرياضى كمية من سكر العنب ارتفع معامل التنفس وقد وجد ايضا أن معامل التنفس الزائد يكون فى نفس الشخص أقرب إلى الوحدة إذا تناول طعاماً غنياً بمائيات الكربون منه إذا كان طعامه غنياً بالدهون حتى ولو كان المجهود الرياضى متساويا فى الحالتين من حيث شدته ومدته .

تأثير المجهود الرياضى على التمثيل الغذائى للبروتين : لا يدعو المجهود الرياضى إلى زيادة يمكن ملاحظتها فى التمثيل الغذائى للبروتين . ففى وقت الصيام حيث يختفى الجليكوچين من الكبد نرى أن القيام بالمجهود الرياضى لا يزيد كمية الأزوت الذى يفرز بالبول إلا بمقادير قليلة جداً بحيث أنه قد ثبت أن ٩٣ ٪ على الأقل من طاقة المجهود الرياضى تنشأ من أكسدة الدهن . وكذلك فى الاحوال العادية لا يدعو المجهود الرياضى إلى زيادة فى كمية الأزوت اللابروتينى فى الدم أو الذى يفرز فى البول .

تأثير المجهود الرياضى على درجة حرارة الجسم : يزيد المجهود الرياضى سرعة تولد الحرارة بالجسم كثيراً فبينما نجد أن الجسم يولد ٤٠ سعراً حرارياً كبيراً لكل متر مربع من سطحه فى كل ساعة تحت الشروط القاعدية تزداد هذه الكمية وقت المجهود الرياضى عدة مرات وعليه نرى أن الحرارة التى يفقدها الجسم من سطحه تزداد أيضاً تبعاً لذلك وأهم الأسباب التى تؤدى إلى زيادة الحرارة المفقودة هو تبخر العرق الذى يفرز بكثرة وقت المجهود . ولكن مع وجود هذه الزيادة فى الحرارة المفقودة ترتفع درجة حرارة الجسم وقد تزيد عن الطبيعى بمقدار ٣ درجات مئوية ولا يتوقف ارتفاع درجة حرارة الجسم على شدة المجهود ومدته فقط بل على الأحوال الجوية أيضاً فإذا كان الجو بارداً وجافاً وبه تيارات هوائية ساعد ذلك على فقد معظم

الحرارة المتولدة بالجسم أو كلها فلا ترتفع درجة حرارة الجسم إلا قليلا وإما إذا عمل مجهود فى جو دافىء رطب ساكن كانت زيادة درجة حرارة الجسم كبيرة إذ لا يتمكن الجسم من أن يفقد كل ما يتولد به من الحرارة (انظر ص١٦٥) . وقد يساعد ارتفاع درجة حرارة الجسم وقت المجهود الرياضى التفاعلات الكيمائية كأكسدة حامض اللبنيك ومنع تراكمه فى الدم بكثرة . كما وأنه يقلل من قابلية الهيموجلوبين للأوكسيجين . وبذا يساعد فى تقديم الأوكسيجين المتحد مع الهيموجلوبين للأنسجة ، ولو أن ارتفاع درجة الحرارة الذى يحدث وقت المجهود الأياضى ليس كافياً لأن يجعل لهذا العامل الأخير أهمية فسيولوجية كبيرة .

قدرة الجسم الميكانيكية (Mechanical Efficiency) : يمكن تعريف القدرة الميكانيكية بأنها تساوى

$$\frac{\text{مقدار الطاقة التى تظهر بشكل عمل نافع}}{\text{مقدار الطاقة الكلية التى يصرفها الجسم للقيام بهذا العمل}} \times ١٠٠$$

فمثلا إذا صعد شخص سلماً ارتفاعه ١٠ مترات وكان وزن جسمه ٦٠ كيلوجراماً فقد اكتسب جسمه طاقة كامنة (Potential Inergy) تساوى ٦٠٠ كيلوجرام متر أى $\frac{٦٠٠}{٤٢٦,٥}$ = ١,٤ سعراً حرارياً كبيراً[١] . وذلك هو ما يسمى بالعمل النافع وللقيام بهذا المجهود لا يصرف الجسم طاقة مساوية للعمل النافع فقط ولكنه يصرف أكثر منها بكثير . ويظهر الباقى على شكل حرارة مفقودة . والقدرة الميكانيكية للجسم وقت المجهود الرياضى من ٢٠—٢٥٪ تقريباً أى أن ما يصرفه الجسم من الطاقة فى المثـــل السابق يساوى ١,٤ × $\frac{١٠٠}{٢٠}$ = ٧ سعراً حرارياً ، وتتأثر القدرة الميكانيكية بعوامل كثيرة منها ما يأتى :

(١) السعر الحرارى الكبير = ٤٢٦,٥ كيلو جرام متر وتستعمل هذه المعادلة لتحويل العمل الميكانيكى إلى طاقة حرارية .

١ — سرعة القيام بالمجهود الرياضى : لكل مجهود رياضى سرعة معينة تكون فيها القدرة الميكانيكية أكبر مايمكن وتقل إذا زادت أونقصت السرعة عن ذلك . فى صعود الدرج مثلا وجدت أعلى قدرة ميكانيكية عند ما يكون الصعود بمعدل ٥٠ درجة فى الدقيقة .

٢ — التمرين الرياضى : تكون القدرة الميكانيكية أكبر عند الرياضيين منها عند الغير المتمرنين وذلك لأنه بالتمرين يكتسب الجهاز العصبى مقدرة أكبر على تنظيم حركات العضلات ومنع الحركات الزائده والغير الضرورية .

٣ — فى حالات التعب تقل القدرة الميكانيكية للقيام بأى مجهود رياضى

٤ — تقل القدرة الميكانيكية بمقدار ١٠ ٪ إذا كان الوقود المستعمل فى المجهود الرياضى هو الدهن .

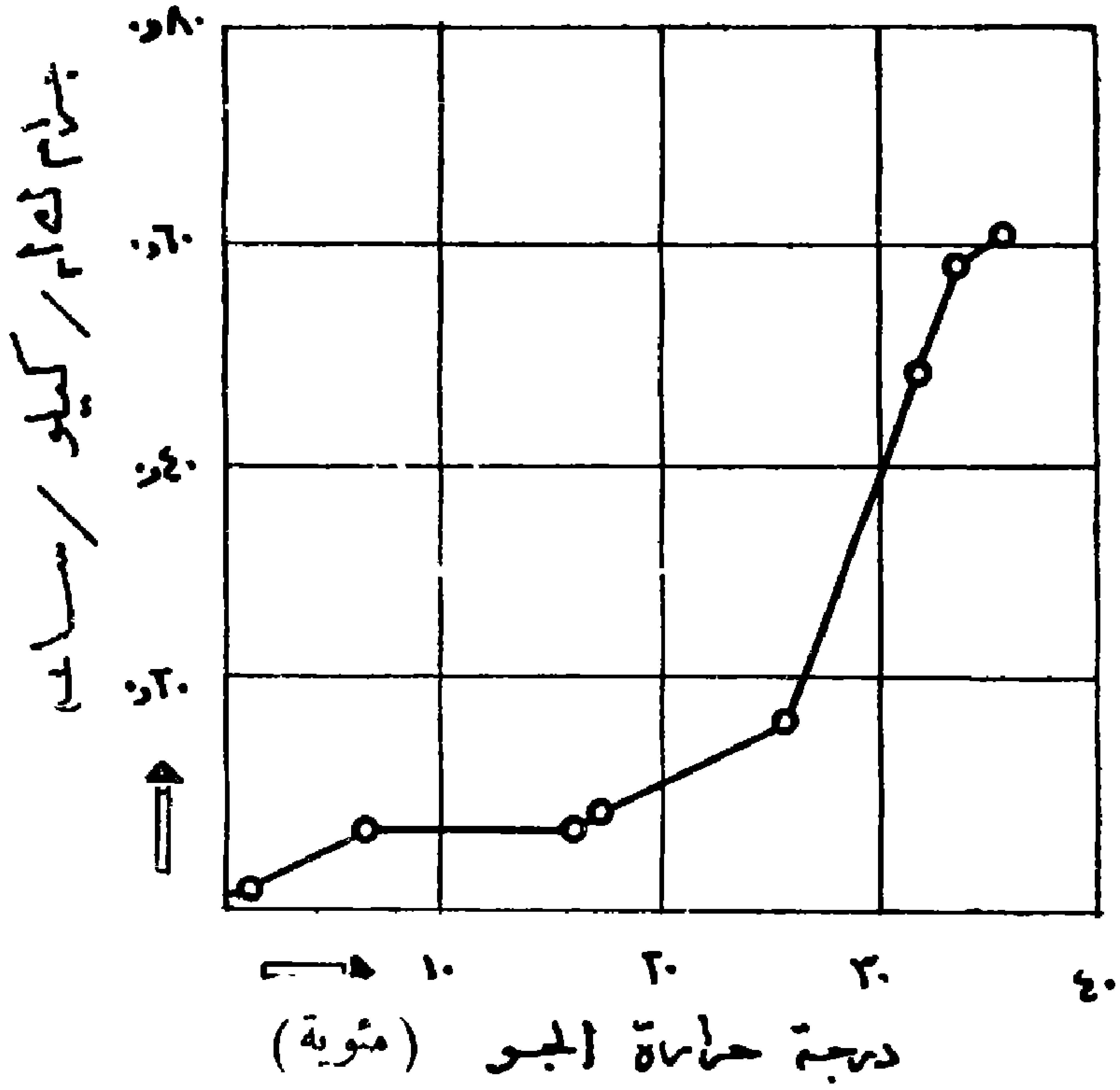
هذا ويجدر بنا أن نشيد بهذه القدرة الميكانيكية العالية للجسم إذ أنه من المستحيل أن نحصل خارج الجسم على قدرة ميكانيكية مماثلة باستعمال نفس المواد العضوية التى يستعملها الجسم فى درجة الحرارة الموجودة بالجسم وإنه من المعلوم أن أعظم الآلات التى اخترعت للآن لا تزيد قدرتها الميكانيكية كثيراً عن تلك الموجودة بالجسم مع أن أكسدة الوقود تجرى فى هذه الآلات فى درجات حرارية مرتفعة جداً .

تأثير درجة حرارة الجو على سرعة التمثيل الغذائى

تنظيم درجة حرارة الجسم

تنقسم الحيوانات قسمين : حيوانات ذوات الدم البارد وأخرى ذوات الدم الحار . فى الأولى — كالضفادع والأسماك — تتغير درجة حرارة الجسم بتغيير درجة حرارة الجو المحيط به ، فعند ما تنخفض درجة حرارة الجو تنخفض معها درجة حرارة الجسم وينتج عن ذلك بطء فى كل التفاعلات الكيميائية التى تتوقف عليها الحياة ، فيقل استهلاك الأوكسيجين وإخراج

ثانى أكسيد الكربون وتقل سرعة القلب والتنفس وتبطىء حركة العضلات كما يبطىء سير الإشارات العصبية وغير ذلك من الأعمال الحيوية . وكثير من هذه الحيوانات ينام لذلك طول مدة الشتاء . وإذا ارتفعت درجة حرارة الجو ترتفع معها درجة حرارة الجسم فتزيد سرعة التفاعلات الكيميائية به ، ويبين (شكل ٣٥) تأثير درجة حرارة الجو على إخراج ثانى أكسيد الكربون من الضفادع . وأما فى الحيوانات ذوات الدم الحار — كالثدييات والطيور — فتبقى درجة حرارة الجسم فيها ثابتة ولا تتغير مع تغيير درجة حرارة الجو ولذلك يمكن للخلايا أن تقوم بأعمالها شتاء وصيفاً بنفس السرعة .



(شكل ٣٥) (مارتان)

وتكون حرارة جسم الإنسان منخفضة فى الصباح المبكر ، حوالى الساعة الرابعة إلى الخامسة صباحا . وترتفع إلى قمتها حوالى السادسة إلى السابعة مساء . ولكن الفرق بين أعلى وأقل درجة حرارة يومية هو حوالى ٠,٥ إلى ١,٠ درجة مئوية فقط . ويكون التغيير اليومى منعكساً عند من يعملون ليلا

وينامون نهاراً . وإذا استثنينا هذه التغييرات اليومية البسيطة نجد أن حرارة الجسم السليم تبقى ثابتة حول درجة ٣٦,٥ إلى ٣٧° مئوية بالرغم من التغييرات الكبيرة التى تحدث فى حرارة الجو[١] .

وينظم حرارة الجسم مركز عصبى موجود فى أسفل المخ يسمى هيبوثالامس (Hypothalamas) ويتأثر هذا المركز بأقل تغيير فى درجة حرارة الدم الذى يغذيه كما يتأثر باشارات عصبية تصل إليه من أعضاء حساسة موجودة بالجلد ، تحس برودة أو حرارة الجو . ونتيجة لهذه الاشارات يوازن المركز العصبى بين كمية الحرارة التى يفقدها الجسم إلى الجو وبين كمية الحرارة التى يولدها الجسم من أكسدة المواد الغذائية ؛ وبذلك تبقى درجة حرارة الجسم ثابتة .

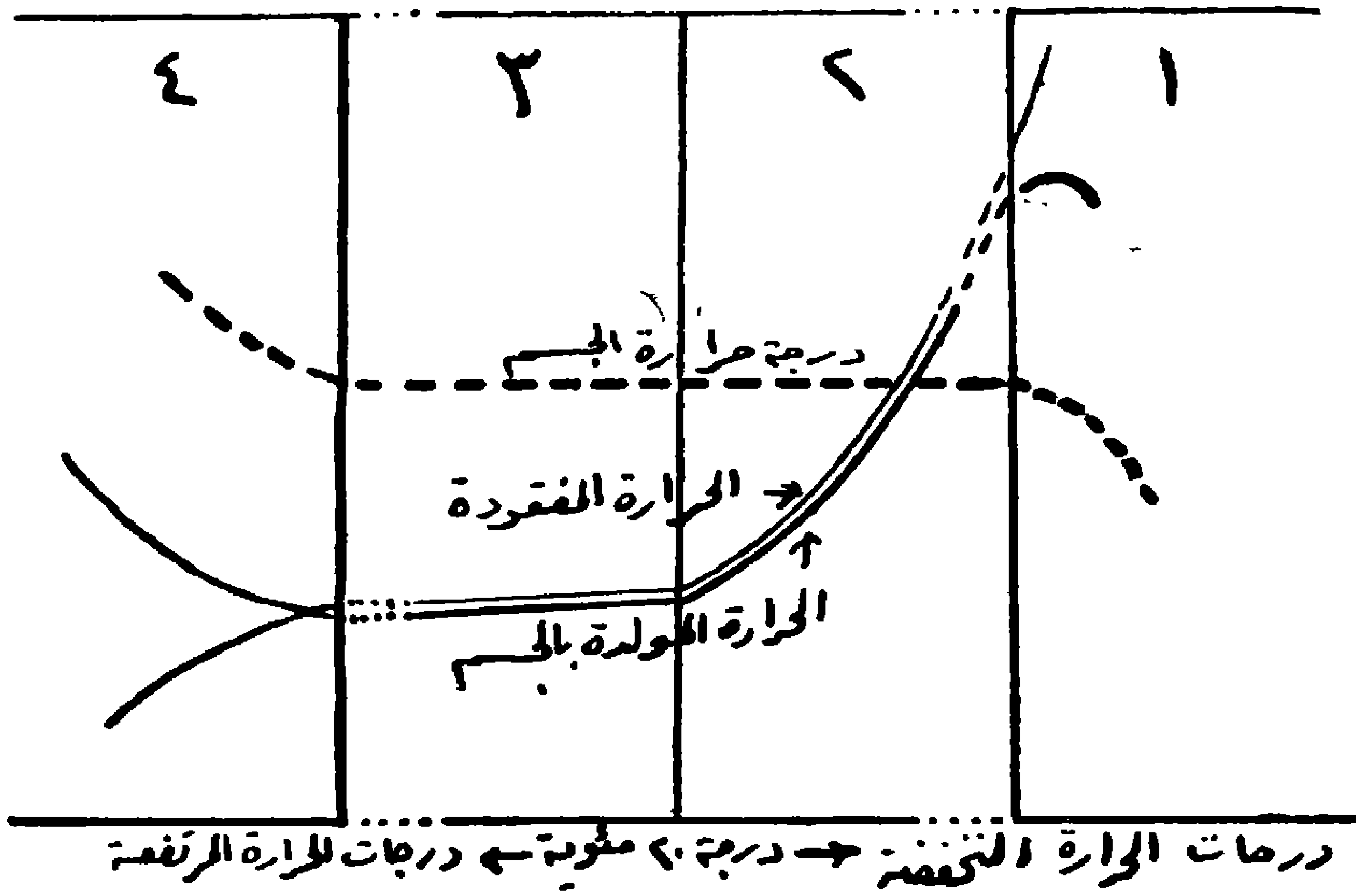
رأينا فى الباب السابق أن جسم الرجل البالغ يولد ٤٠ سعراً حرارياً كبيراً فى الساعة لكل متر مربع من سطح الجسم تحت الظروف القاعدية ؛ أى عند الراحة التامة وفى حالة ما بعد الامتصاص وعند ما تكون درجة حرارة الجو حوالى ٢٠ مئوية . والآن نقول أنه إذا انخفضت تدريجياً درجة حرارة الجو عن درجة ٢٠ مئوية زاد ذلك من الفرق بين درجة حرارة الجو ودرجة حرارة جلد الجسم وبذا تزيد كمية الحرارة التى يفقدها الجسم إلى الجو . ولكى تبقى حرارة الجسم ثابتة تزيد سرعة التمثيل الغذائى فتزداد الحرارة التى تولد بالجسم حتى تساوى الحرارة المفقودة . وكلما انخفضت درجة حراوة الجو زادت أكسدة المواد الغذائية لتبقى حرارة الجسم ثابتة ويسمى

(١) تقاس درجة حرارة جسم الانسان عادة بوضع الترمومتر فى الفم تحت اللسان أو فى المستقيم أو تحت الإبط . ودرجة الحرارة التى تقاس عن طريق المستقيم تكون أعلى بنصف درجة مئوية عما إذا قيست عن طريق الفم . وأما إذا وضع الترمومتر تحت الإبط فيجب تركه مدة طويلة — حوالى ١٠ دقائق — كى يعطى تقديراً صحيحا . ودرجة الحرارة مقاسة تحت الابط تكون أقل منها عند ما تقاس بطريق الفم بمقدار درجة واحدة مئوية تقريبا . وتزيد درجة حرارة الأعضاء الداخلية كالكبد عن درجة حرارة الجلد . وتكون درجة حرارة الكبد حوالى ٣٨ مئوية . بينما تكون درجة حرارة الجلد المغطى بالملابس ٣٥,٥ إلى ٣٦ مئوية وتختلف درجة حرارة الجلد العارى كثيراً باختلاف درجة حرارة الجو .

هذا التنظيم بالتنظيم الكيميائى (chemical regulation) لأنه ينتج عن زيادة التفاعلات الكيميائية. وإذا انخفضت درجة حرارة الجو كثيراً ومنع الشخص من القيام بأى مجهود عضلى إرادى وكان عار من الملابس زادت كمية الحرارة المفقودة عن كمية الحرارة التى تتولد بالجسم وقت الراحة ، فتقل درجة حرارة الجسم ويدعو ذلك إلى نقص فى سرعة أكسدة المواد الغذائية بالجسم فتقل درجة حرارة الجسم أكثر من ذلك وهلم جرا (Hypothermal drop in metabolism) وتسبب نقص درجة حرارة الجسم شلل المراكز العصبية العليا بالمخ فتحدث الغيبوبة ويقل التنفس وضغط الدم ويمكن معالجة هذه الحالة بإيقاف فقد حرارة الجسم إلى الجو وباستعمال تدفئة صناعية للجسم . وقد أمكن إرجاع درجة حرارة بعض الأشخاص إلى حالتها الطبيعية بعد أن نقصت بسبب التعرض للبرد إلى درجة منخفضة جداً — درجة ٢٤ مئوية .

وأما إذا ارتفعت درجة حرارة الجو فوق درجة ٢٠ مئوية أدى ذلك إلى نقص فى الفرق بين درجة حرارة الجلد ودرجة حرارة الجو. وأصبح متعذراً على الجسم أن يتمكن من أن يفقد للجو كميات حرارية مساوية لتلك التى تتولد به لولا أن المركز العصبى يقوم بترتيبات تسمح للجسم أن يفقد الحرارة التى تتولد به بالرغم من ارتفاع درجة حرارة الجو ؛ وهكذا تبقى درجة حرارة الجسم ثابتة . ويسمى هذا التنظيم بالتنظيم الطبيعى (physical regulation) إذ أن ثبوت درجة حرارة الجسم ناتج من ترتيبات طبيعية كزيادة درجة حرارة الجلد وكمية مايتبخر منه من الماء بينما تبقى سرعة التمثيل الغذائى قاعدية ولا تنقص إلا قليلا . وإذا ارتفعت حرارة الجو إلى درجات عالية بحيث لا يستطيع الجسم أن يفقد كل مايولد به من الحرارة بالرغم من ترتيبات المركز العصبى ، زادت درجة حرارة الجسم ، ويؤدى ذلك إلى زيادة فى سرعة التمثيل الغذائى وهكذا تزداد حرارة الجسم أكثر فأكثر (Hyperthermal rise in metabolism) وتحدث الوفاة عند ماتصل درجة

حرارة الجسم إلى حوالى ٤٤ مئوية . أما درجة حرارة الجو التى يحدث فيها هذا الارتفاع فتتوقف على رطوبة الجو وعلى وجود التيارات الهوائية كما سنراه فيما بعد . وهكذا نرى أن حرارة الجسم تبقى ثابتة بالرغم من تغيير كبير فى حرارة الجو وينتج ذلك عن التنظيم الكيميائى فى درجات حرارة الجو المنخفضة والتنظيم الطبيعى فى درجات الحرارة العالية . ويبين شكل ٣٦ تأثير انخفاض وارتفاع درجة حرارة الجو عن ٢٠ مئوية على الحرارة التى تتولد بالجسم والحرارة التى تفقد منه وعلى درجة حرارة الجسم .



(درجة حرارة الجو)

١ — قلة التمثيل الغذائى الناتج من انخفاض درجة حرارة الجسم تحت الدرجة الطبيعية (hypothermal drop in metabolism) .

٢ — التنظيم الكيميائى (chemical regulation) .

٣ — التنظيم الطبيعى (physical regulation) .

٤ — زيادة التمثيل الغذائى الناتج من ارتفاع درجة حرارة الجسم فوق الدرجة الطبيعية (hyperthermal rise in metabolism) .

شكل (٣٦)

التنظيم الكيميائى : إذا انخفضت درجة حرارة الجو نبهت البرودة نهايات أعصاب حساسة بالجلد (cold sensory nerve endings) فترسل

هذه الأعضاء الحساسة إشارات إلى المركز العصبي الموجود فى أسفل المخ — الهيپوثالامس — فيقوم هذا المركز بما يأتى : —

١ — يرسل إشارات عن طريق الأعصاب السمپاثوية التى تجهز الجلد إلى أوعية الجلد الدموية فيقبضها ، فيقل مرور الدم بالجلد وتنخفض درجة حرارته . ويؤدى ذلك إلى انخفاض فى الفرق بين درجة حرارة الجلد ودرجة حرارة الجو وهذا يساعد على نقص كمية الحرارة التى يفقدها الجسم إلى الجو ويمنعها من أن تكون كبيرة جداً . كما هى الحالة إذا لم تنخفض درجة حرارة الجلد .

٢ — يزيد المركز العصبي من سرعة التمثيل الغذائى بالجسم فتزيد كمية الحرارة التى تتولد به حتى تساوى كمية الحرارة المفقودة ؛ وبذا تبقى درجة حرارة الجسم ثابتة . وقد وجد هِلْ وكامپل (Hill & Campbell.) أنه لو وضع الجسم فى حمام ماء بارد (فى درجة ٥ مئوية) زادت سرعة التمثيل الغذائى بمقدار اثنتى عشر مرة عنه فى درجة الحرارة العادية لمدة العشرة دقائق الأولى من التعرض للحمام البارد وبعدها يصيب المركز العصبي الهبوط ثم تقل حرارة الجسم .

ويزيد المركز العصبي كمية الحرارة التى تتولد بالجسم عند انخفاض درجة حرارة الجو بالطرق الآتية : —

أولا : يرسل إشارات فى العصب الحشوى (Splanchnic nerve) إلى الغدة فوق الكلية ويجعلها تفرز كميات كبيرة من مادة الأدرينالين . والأدرينالين كما رأينا فى صفحة (١٤٢) يزيد سرعة التمثيل الغذائى . ولإثبات ذلك قطع كانون (Cannon) كل الأعصاب التى تجهز قلب القط . ويصير القلب بعد هذه العملية حساساً جداً لمادة الأدرينالين بالدم . وتكفى نسبة $\frac{١}{١٤٠٠٠٠٠٠٠٠٠}$ لأن تزيد من سرعة القلب . وقد وجد كانون أن سرعة القلب تزداد إذا عرض مثل هذا القط إلى جو بارد ولا يحدث ذلك إذا

قطعت الأعصاب الحشوية التى تجهز الغدة فوق الكلية أو إذا استئصلت الغدة من الناحيتين قبل تعريض القط للجو البارد . ويثبت ذلك أن زيادة سرعة القلب ناتجة من إفراز الأدرينالين . وأن الجو البارد يدعو إلى زيادة إفراز هذه المادة . ومما يثبت أيضاً أهمية الغدتين فوق الكلية فى تنظيم درجة حرارة الجسم أنه عند استئصالهما تقل درجة حرارة الجسم ويصير تنظيمها غير دقيق .

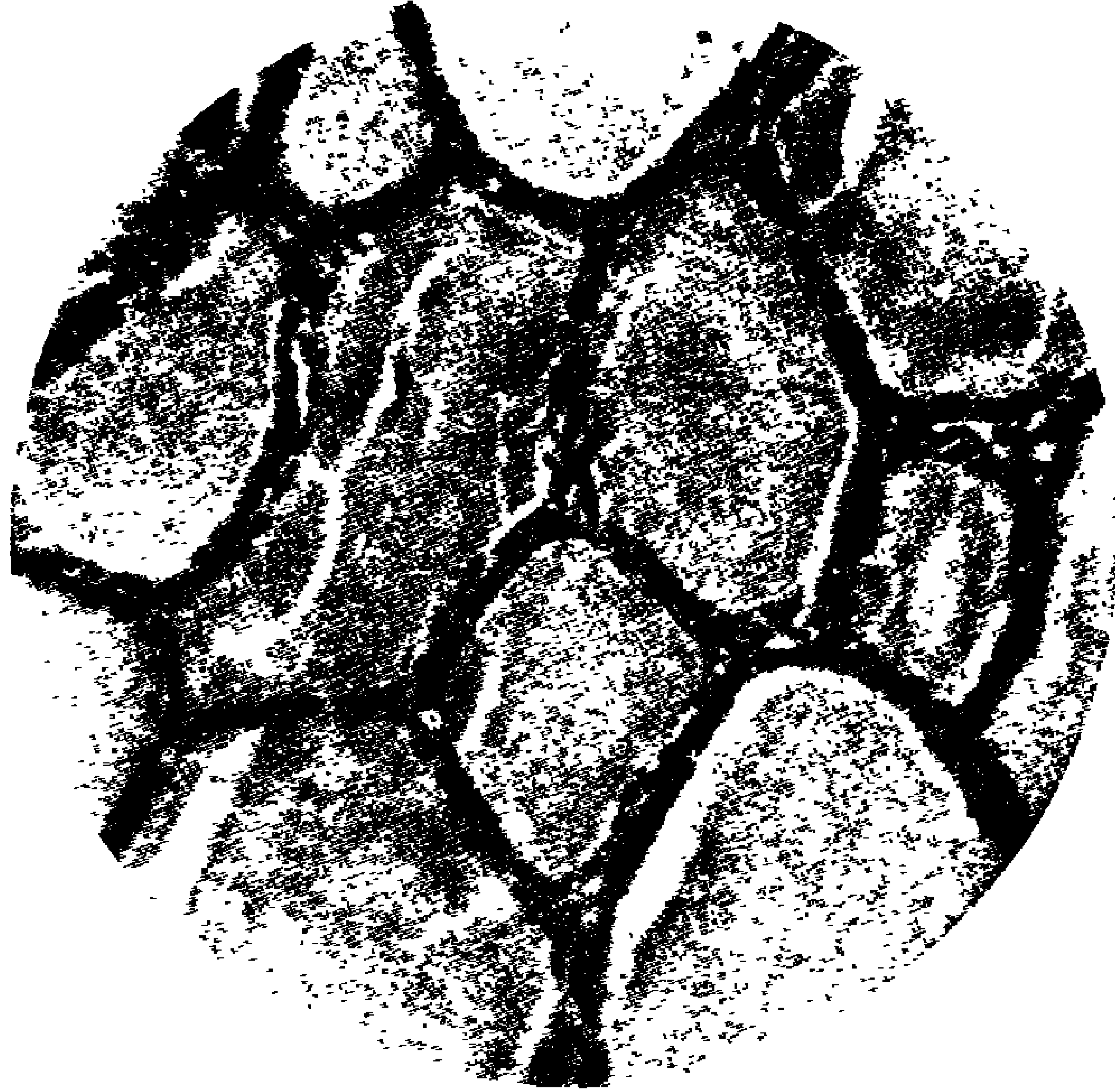
ثانياً : يزداد النشاط العضلى (muscle tone) . ويحدث ارتعاش بالعضلات (Shivering) وهذا الارتعاش غير إرادى ويزيد الحرارة التى تتولد بالجسم كثيراً ، ويثبت أهمية العضلات فى زيادة الحرارة التى تتولد بالجسم فى الجو البارد ما يأتى :

ا — إذا حقن حيوان بمادة الكوارى (Curare) ارتخت العضلات تماماً إذ أن هذه المادة تشل نهايات الأعصاب المحركة للعضلات وتمنع أى سيطرة للجهاز العصبى على العضلات . ولكى يعيش الحيوان بعد حقنه بهذه المادة يجب إجراء تنفس صناعى له . وبعد حقن هذه المادة يصبح الحيوان كالحيوانات ذوات الدم البارد . فتنخفض درجة حرارة جسمه سريعاً مع انخفاض درجة حرارة الجو إذ لا يمكن للمركز العصبى أن يزيد النشاط العضلى أو يسبب ارتعاش العضلات .

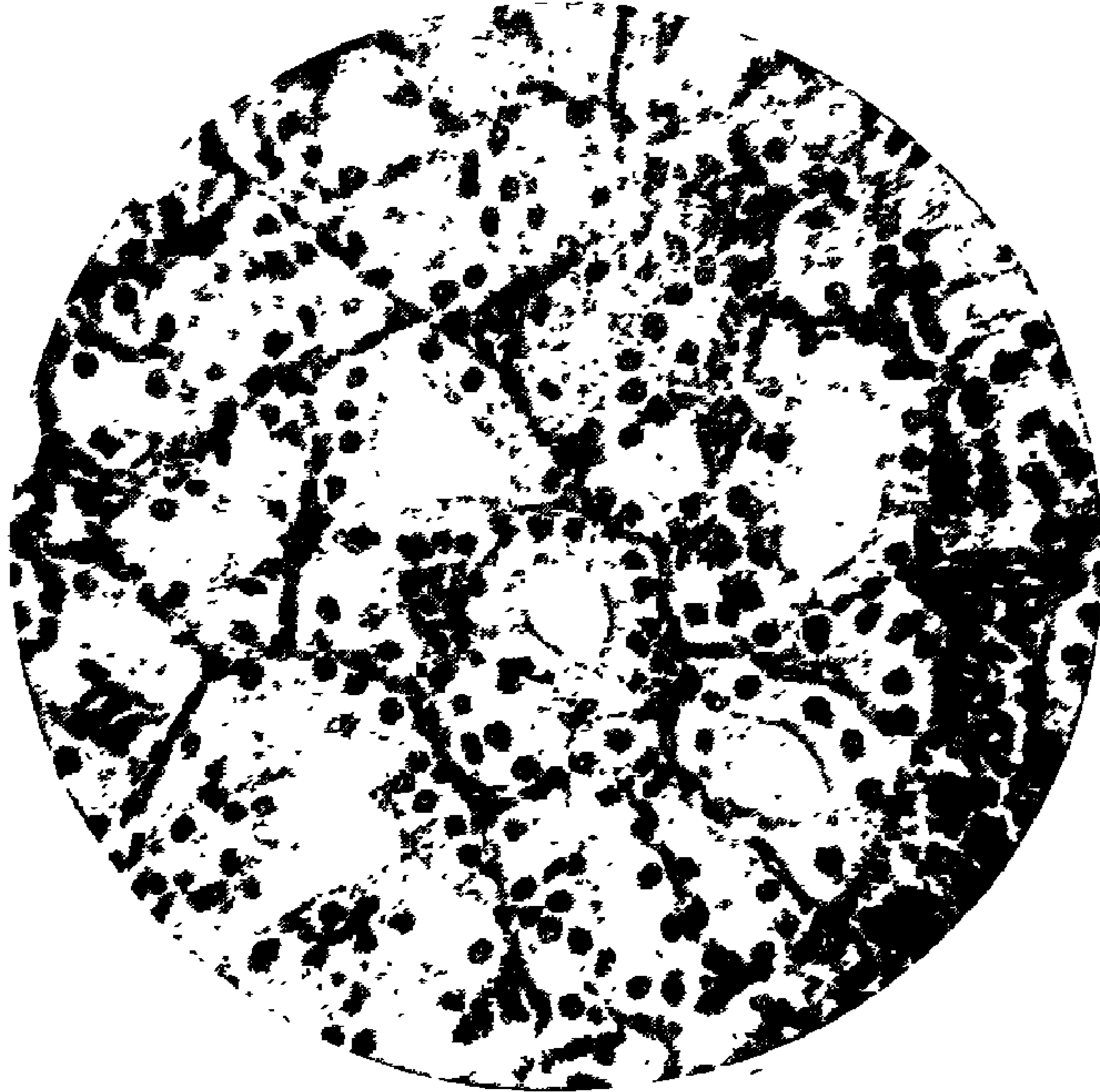
ب — إذا قطع النخاع الشوكى لحيوان فى أعلى الجزء الصدرى ارتخت العضلات ويصير الحيوان عرضة لانخفاض درجة حرارته عندما تنخفض درجة حرارة الجو .

حـ — الأطفال الحديثى الولاده معرضون للبرد بسرعة وذلك لأنه ليس لجهازهم العصبى المقدرة التامة على تنظيم حركات عضلاتهم .

ثالثاً : عند تعريض الجسم لجو بارد لمدد طويلة يزداد إفراز الهرمون ثيروكسين من الغدة الدرقية . ولهذا الهرمون كما رأينا (صفحة ١٤٢) مقدرة كبيرة على زيادة سرعة التمثيل الغذائى للجسم فكل ميلليجرام واحد منه يزيد التمثيل الغذائى بمقدار ١٠٠٠ سعر حرارى . وتثبت الأدلة الآتية نشاط الغدة الدرقية فى إفراز الثيروكسين فى الجو البارد .



ا — غدة درقية من حيوان فى جو حار — وتظهر الحويصلات ممتلئة بالمادة الغروية والخلايا مسطحة .



ب — غدة درقية من حيوان فى جو بارد — وتظهر الحويصلات صغيرة وتنعدم أو تقل فيها المادة الغروية — والخلايا عمودية أو مكعبة .

شكل (٣٧)   (عن شيفر عن شالمرز وواتسون)

ا — عند تعريض الحيوانات إلى جو بارد تحدث تغييرات ميكروسكوبية فى الغدة الدرقية تثبت زيادة عملها ، فمثلا تتسع الشرايين والشعريات التى تجهزها ، فيزيد مرور الدم بها . وتصير الخلايا عمودية أو مكعبة بعد أن كانت وقت راحة الغدة مسطحة . وتقل كمية المادة الغروية التى تحتوى على الثيروكسين فى الحويصلات الدرقية مما يثبت مرور الإفراز إلى الدم وعدم خزنه فى الغدة كما فى وقت الراحة ويبين شكل (٣٧) هذه التغييرات الميكروسكوبية .

ب — إذا عرض حيوان إلى جو بارد ثم أخذ مصله وحقن فى حيوان آخر ، أدى هذا المصل إلى زيادة سرعة التمثيل الغذائى فى الحيوان الآخر . ولاتحدث هذه الزيادة إذا استؤصلت الغدة الدرقية من الحيوان الذى يعرض للبرد والذى يؤخذ منه المصل .

حـ — فى حالات الميكسوديما — حيث يهبط عمل الغدة الدرقية — تكون درجة حرارة الجسم أقل من الطبيعية .

وفضلا عن هذه الترتيبات التى تدعو إلى زيادة سرعة التمثيل الغذائى فى الجو البارد لحفظ حرارة الجسم فان تعاطى البروتينات فى الجو البارد يساعد أيضاً على حفظ حرارة الجسم إذ أنه — كما رأينا فى صفحة (١٤٦) لا يظهر للبروتينات فعلها النوعى الديناميكى فى هذه الحالة . ويبين جدول (٧) تأثير تعاطى البروتينات فى سرعة التمثيل الغذائى لكلب عند درجات حرارية جوية مختلفة (عن لسك)

جدول (٧)

درجة حرارة الجـو مئوية	كمية الحرارة التى تتولد بالجسم مقدرة بالسعر الحرارى الكبير لكل كيلو جرام من وزن الجسم		
	فى حالة الصيام	فى حالة تعاطى ٥٥٠ جراما من اللحم	الزيادة الناتجة من الفعل النوعى الديناميكى
٤٫٢	١٢٨	١٣٣	٤
١٤٫٥	١٠١	١١١	٩
٢٢٫١	٧١	١٠١	٤٣
٣٠٫٧	٦٢	١١٧	٨٩

هذا وتزداد رغبة الشخص فى الحركة وفى القيام بمجهودات عضلية عند انخفاض درجة حرارة الجو .

التنظيم الطبيعى : يتولد بجسم الرجل العادى الذى يقوم بشغل طفيف حوالى ٣٠٠٠ سعر حرارى يوميا ومن البديهى أنه كى تبقى درجة حرارة الجسم ثابتة يجب أن يفقد الجسم يوميا نفس الكمية من الحرارة . ويبين جدول (٨) الطرق التى يفقد الجسم بوساطتها الحرارة التى تتولد به وكمية الحرارة التى تفقد عن كل طريقة عندما تكون درجة الحرارة عادية (٢٠ مئوية)

جدول (٨)

عن طريق	سعرا حراريا كبيرا	النسبة المئوية
الجلد بواسطة التوصيل والتيارات الهوائية والاشعاع	٢١٠٠	٧٠,٠
الجلد بواسطة تبخير الماء	٤٣٥	١٤,٥
الرئتين بواسطة تبخير الماء	٢٤٠	٨
الرئتين بواسطة اخراج ثانى اكسيد الكربون من محلوله بالدم	١٠٥	٣,٥
الرئتين بواسطة رفع درجة حرارة هواء الشهيق	٧٥	٢,٥
البول والبراز (الحرارة الموجودة فى هذه الافرازات زيادة عن تلك الموجودة بالطعام)	٤٥	١,٥
المجموع الكلى للحرارة المفقودة يوميا	٣٠٠٠	١٠٠

الحرارة المفقودة عن طريق الجلد

يفقد الجلد حرارة للجو المحيط به بالطرق الطبيعية الآتية :

١ — التوصيل (conduction) : يفقد الجسم الحار حرارته إلى جسم بارد عن طريق التوصيل إذا تلامس الجسمان .

٢ — الحمل (convection) : يسخن الهواء الذى يلامس الجلد فيتمدد ويخف وزنه فيرتفع ويحل محله هواء آخر بارد .

٣ — الاشعاع (radiation) : تفقد الحرارة عن هذا الطريق للاجسام الباردة حتى ولو كانت بعيدة عن الجسم إذ تمر حرارة الاشعاع فى الأثير . وفى عدم وجود التيارات الهوائيه تكون معظم الحرارة التى يفقدها الجلد عن طريق الاشعاع إذا كانت درجة حرارة الجو عادية أى حوالى ٢٠ درجة مئوية .

وتزيد التيارات الهوائيه كمية الحرارة التى تفقد بواسطة التوصيل والحمل

ومن البديهى أنه إذا كانت درجة حرارة الجو مساوية لدرجة حرارة الجسم لايمكن للجسم أن يفقد أى جزء من حرارته بوساطة هذه الطرق الثلاث — التوصيل والحمل والاشعاع — وإذا كانت درجة حرارة الجو أعلى من ٣٧ مئوية فان الجسم يكتسب حرارة من الجو بواسطة هذه الطرق . وقد ترتفع درجة حرارته ، لولا أن هناك طريقة أخرى طبيعية فى غاية الأهمية تمكننا من حفظ درجة حرارة الجسم عندما تكون درجة حرارة الجو أعلى منها وهى طريقة التبخير . وفى درجة حرارة الجو العادية (حوالى ٢٠ مئوية) يفقد الجسم حوالى ٢٠ — ٢٥ ٪ من حرارته عن طريق التبخير (جدول ٨) إذ يتبخر الماء من الشعريات والأنسجة التى تحت الجلد ومن الرئتين كما يتبخر العرق بمجرد إفرازه فلا يصير منظوراً ويسمى هذا التبخير فى درجات الحرارة العادية حيث لايكون هناك عرق ظاهر بالعرق الغير المنظور (insensible perspiration) ويأخذ الماء حرارة تبخيره الكامنة من الجسم فيبرده . وتساوى هذه الحرارة حوالى ٠,٥٨ من السعر الكبير لكل جرام من الماء يتبخر عند درجة حرارة الجلد [1] .

(١) إذا تبخر الماء وهو يغلى كانت الحرارة الكامنة للتبخير ٠,٥٣٦ سعرا حراريا كبيراً ، وأما عند ما يتبخر من درجة حرارة الجو تزداد الحرارة الكامنة إذ يجب أن ترتفع حرارة الماء قبلا إلى درجة ١٠٠ مئوية قبل أن يتبخر .

ولبيان ما للتبخير من أهميـة عظيمة فى حفظ حرارة الجسم تقـدم الأدلة الآتية :

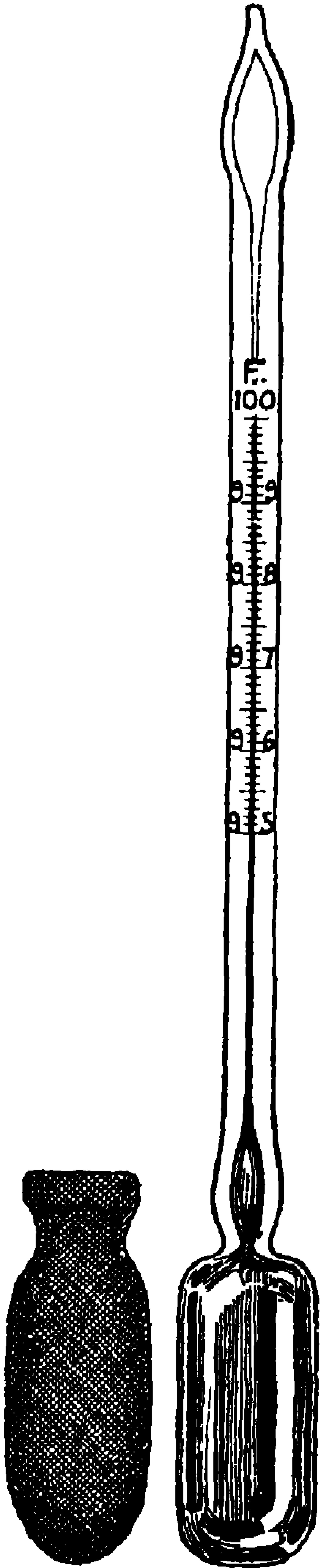
ا — يولد بعض الأشخاص بلا غدد عرقية فى جلودهم ويلاقى هؤلاء الأشخاص صعوبة كبيرة فى حفظ درجة حرارة أجسامهم فى الجو الحار أو فى الجو البارد عند القيام بأى مجهود رياضى . ويقال أن بعض هؤلاء الأشخاص قد اعتادوا أن يبللوا ملابسهم عند القيام بأى مجهود رياضى حتى يتمكنوا من فقد الحرارة الزائدة بالجسم عن طريق هذا التبخير الصناعى .

(ب) قدعملت تجارب أثبتت أنه فى إمكان الشخص أن يبقى لمدة ساعات فى درجة حرارة عالية حوالى ١٢٠ مئوية (أى فى حرارة يغلى عندها الماء ويشوى اللحم) دون أن ترتفع درجة حرارة الجسم إذا كان الجو جافا . أما إذا كان الجو مشبعا ببخار الماء فان درجة حرارة منخفضة كدرجة ٣٠ مئوية كافية لأن ترفع درجة حرارة الجسم وتسبب الوفاة وذلك لأن العرق الذى يفرز لا يمكنه أن يتبخرمن سطح الحسم نظراً لتشبع الجو ببخار الماء . إذ أن العرق الذى يفرز ويتساقط من سطح الجلد دون أن يتبخر منه ليس له أى فائدة للتبريد .

وينظم الهيبوثلامس كمية الحرارة التى يفقدها الجسم عن طريق الجلد وقد رأينا أنه إذا انخفضت درجة حرارة الجو أرسلت إشارات إلى الهيبوثلامس من أعضاء حساسة موجودة فى الجلد تحس ببرودة الجو . فيرسل الهيبوثلاماس إشارات فى الأعصاب السمپاثوية التى تجهز شرايين الجلد فيقل مرور الدم فى الجلد ويمنع ذلك الحرارة المفقودة من أن تزيد زيادة كبيرة . ولا يعنى ذلك أن الحرارة المفقودة تقل فى الجو البارد ، إذ أنها تزيد ولـكن وظيفة الهيبوثلاماس أنه يمنع هذه الزيادة من أن تـكون كبيرة جداً وذلك بتقليل كميات الدم التى تمر بأنسجة الجلد وتحقيقاً لذلك نرى أن شرايين الأعضاء

الداخلية كالكبد والطحال تتسع وتزيد كميات الدم التى تخزن بها ويقل حجم الدم الذى يدور بالدورة الدموية .

أما إذا ارتفعت درجة حرارة الجو وصلت إلى الهيپوثلاماس إشارات عصبية تنبئه بذلك ويقوم الهيپوثالاماس بمنع الاشارات السمپاثوية التى تقبض شرايين الجلد فتتسع الشرايين وتمر بها كميات أكبر من الدم ؛ ويسمح ذلك للجلد بان يفقد الكميات الحرارية التى تولد بالجسم بالرغم من ارتفاع درجة حرارة الجو . وتنقبض شرايين الأعضاء الداخلية وتزداد كمية الدم الذى يدور فى الدورة الدموية . وفضلا عن ذلك يرسل الهيپوثلاماس إشـــارات فى الأعصاب السمپاثوية التى تجهز الغدد العرقيه ويدعو ذلك إلى استدرار إفراز العرق .



(شكل ٣٨)

العوامل الجوية التى تؤثر على تبريد الجسم :

تختلف قدرة الهواء على تبريد الجسم كثيراً ويتوقف ذلك على :

١ — حرارة الهواء

٢ — درجة تشبع الهواء ببخار الماء — أى درجة الرطوبة به .

٣ — التيارات الهوائية .

وقد اخترع هل (Hill) الكاتاترمومتر (Kata-thermometer) ليدل على هذه

العوامل الجوية الثلاث إذ أن الترمومتر العادى لايبين إلا درجة حرارة الجو فقط . والكاتاترمومتر (شكل ٣٨) عبـــارة عن ترمومتر كحولى له مستودع كبير وساق مدرج بين درجتى ٩٥ و ١٠٠ فهرنهيت . ويمكن تغطية مستودعه بقطعة من القماش المبلل . ولاستعماله ترفع درجة حرارته أولا الى حوالى ١٠٥ فهرنهيت ثم يقدر الزمن بالثوانى الذى يلزم للترمومتر ليبرد من درجة ١٠٠ الى ٩٥ فهرنهيت ، ويوجد على ساق كل ترمومتر رقم عددى (يقدر تجريبيا بوساطة الصناع) وبقسمة هذا الرقم العددى على الثوانى اللازمة لتبريد الترمومتر من درجة ١٠٠ الى درجة ٩٥ فهرنهيت يكون الناتج سرعة تبريد الهواء محسوبا بالملليسعر[١] فى الثانية لكل سنتيمتر مربع من سطح الجسم .

وبهذا الترمومتر بحثت الحالة الجوية فى المصانع والمناجم والمدارس والمستشفيات وغيرها وقدرت أكثر الأحوال الجوية ملاءمة للصحة العامة .

---

(١) الملليسعر = $\frac{١}{١٠٠٠}$ من السعر الصغير = ١ × ١٠ $^{-٦}$ من السعر الكبير

الباب الرابع عشر

الصيام (Starvation)

الصيام هو حرمان الجسم من عناصر الغذاء أو مركباته بعضها أو كلها وعلى ذلك قد يكون الصيام جزئيا أو كليا . فإذا تناول الإنسان كل ما يحتاج إليه من الغذاء، ماعدا الكالسيوم أو الڤيتامينات أو البروتينات مثلا، كان ذلك صياما جزئيا . وأما الصيام الكلى فهو حرمان الجسم من كل المواد الغذائية بأنواعها . وقد أثبتت التجارب أن الحيوان إذا سمح له بالماء فى الصيام الكلى عاش مدة أطول مما لو منع الماء والغذاء معا .

وليس هناك صيام عن الماء بمعنى الكلمة ، إذ أن فى حالة منع الماء عن الإنسان أو الحيوان تتكون كميات كبيرة منه فى الجسم تكفى لإفراز البول ولعملية التنفس ؛ وذلك لأن الأنسجة التى يؤكسدها الجسم للحصول على الطاقة اللازمة له فى حالة الصيام تحتوى على كميات من الماء — فضلا عن تكوّن الماء فى الجسم من أكسدة الايدروچين الموجود بمواده العضوية . وقد حاول ستراوب (Straub) أن يدرس تأثير الصيام الكامل عن الماء فى الجسم ، فأعطى الحيوانات مسحوقا مجففا من اللحم والدهن ، قاصدا بذلك منع استعمال أنسجة الجسم نفسها بما تحتويه من الماء ، ولكن استحال عليه استمرار التجربة أكثر من يومين إذ عندما نقصت كمية الماء بالجسم قل افراز العصارات الهضمية ، وترتب على ذلك قىء الطعام مما يدل على أن الحيوان قد بدأ فى استعمال أنسجة جسمه . وقد ظهر من نتائج هذه التجارب أن نحو ٢٠ ٪ من الماء المكون للعضلات قد يفرز من الجسم دون ظهور علامات مرضية .

تأثير الصيام :

(١) آلام الجوع : تحدث هذه الآم فى بضعة الأيام الأولى فى آونة الطعام ثم تختفى تدريجياً ، فلا يشعر بها الإنسان بعد اليوم الثانى أو الثالث فى معظم الحالات . وقد درس كارلسن (Carlson) آلام الجوع فى مرضى بهم ناصور معدىّ فوجدها مسببة عن انقباض قاع المعدة بشدة ؛ وأمكنه منع هذه الانقباضات وآلام الجوع بتنبيه أعضاء الذوق الحساسة بالفم ، أو بمضغ أى مادة مثل اللبان أو بعملية البلع أو بالتدخين أو بشرب الماء أو القهوة أو الشاى أو بوساطة المورفين . وتزيد حساسية الجهاز العصبي مدة آلام الجوع فمثلا تشتد رجفة الركبة (excagerated Knee-Jerk)

(٢) هبوط جسمانى وعقلى عام : وتنعدم الرغبة فى عمل أى مجهود رياضى .

(٣) نقص الوزن : وجد فى بعض تجارب الجوع الطويلة أن وزن الجسم قد ينقص بمقـــدار ٦٥ ٪ دون أن يكون مصحوبا بتغييرات هيستولوجية فى الخلايا . ولا يؤثر الصيام فى وزن كل الأنسجة بنسبة واحدة ولكن يؤثر بشدة فى الأنسجة القليلة الأهمية كالمخازن الدهنية والعضلات الهيكلية ، فى حين أنه لا يقل وزن الأعضاء الحيوية المهمة كالقلب والجهاز العصبي إلا قليلا جدا .

(٤) تقل الإفرازات بأنواعها : مثل إفراز العصارات الهضمية وإفراز البول وغيرها . وينعدم إفراز اللبن فى المواشى بعد نحو خمسة أيام .

(٥) يقل ضغط الدم وسرعة القلب وكمية الدم التى يقذفها القلب فى الشرايين .

(٦) تبقى درجة حرارة الجسم طبيعية خلال الصيام لكنها تنخفض قبل الوفاة .

(٧) يقل حجم الدم فى الجسم ولو أن عدد كرات الدم الحمراء فى كل

مم۳ ونسبة الهيموجلوبين فى الدم تبقى ثابتة ؛ وتتراوح نسبة سكر العنب فى الدم وقت الصيام بين ٠٫٠٨ و ٠٫١٠٪ جم فى كل ١٠٠ سم۳ ؛ وتزداد كميات الدهن والفسفوليبيد والاحماض الخلونية بالدم ويقل احتياطى القواعد (alkali reserve) والأس الايدروجينى (pH)

(٨) يستمر إفراز البراز ويكون مقداره نحو ٣٠ جراما يوميا ، ويتكون من بكتريا ومخاطين وأحماض دهنية، ويحتوى على نصف جرام إلى جرام من الأزوت يوميا (ص ١١٠)

التمثيل الغذائى وقت الصيام

يحصل الحيوان خلال الصيام على الطاقة اللازمة لوظائفه الحيوية — كضربات القلب وعملية التنفس وحفظ حرارة الجسم وعمل الجهاز العصبي — بأكسدة أنسجة الجسم نفسها ؛ ويزداد احتراق الأنسجة عند عمل أى مجهود رياضى .

وقد وجد أن سرعة التمثيل الغذائى الأساسية تقل تدريجاً خلال الصيام ؛ ولا ينتج ذلك عن نقص كمية البروتوبلازم فى الجسم فقط بل وجد أن نقص سرعة أكسدة المواد الغذائية أكثر كثيراً مما ينتظر من نقص النسيج البروتوبلازمى . وإذا أعطى الغذاء فلا ترتفع سرعة التمثيل الغذائى القاعدية مباشرة ولكنها تزداد تدريجاً ، وهذا يثبت أن نشاط الأنسجة فى التمثيل الغذائى لا يعتمد بتاتاً على كميات المواد الغذائية التى ترد إليها بالدم ولكنها تعتمد على حيوية الخلايا نفسها قبل كل شيء آخر .

ولمعرفة مقدار الطاقة التى تحصل عليها ، وقت الصيام ، من أكسدة البروتينات والدهنيات ومائيات الكربون — كل على حدة — تتبع الطريقة الآتية (أنظر ص ١٣٥) :

١ — تقدر كميات الأزوت الكلية التى تفرز بالبول والبراز بطريقة كلدال

(Kjeldahl)[١] ولما كان كل جرام من الأزوت يفرز من الجسم ينتج من ٦٫٢٥ من الجرام من بروتينات الجسم أمكن معرفة كمية البروتين المتأكسدة من حاصل ضرب جرامات الأزوت التى تفرز فى ٦٫٢٥ ؛ وبضرب الناتج فى ٤٫١ نحصل على عدد الأسعار الحرارية التى تكون بالجسم من أكسدة البروتينات.

ب — تقدر كمية الأسعار الحرارية الناتجة من أكسدة كل المواد الغذائية بالجسم، وذلك بإحدى الطرق المذكورة (ص ١٢٨) . ولما كان ٦٫٢٥ من الجرام من البروتينات المؤكسدة بالجسم تعطى ٤٫٧٥٤ لتراً من ثانى أكسيد الكربون، وتحتاج إلى ٥٫٩٢٣ لتراً من الأوكسيجين لأكسدتها، أمكننا أن نحصل على الغازات التنفسية المتعلقة بتمثيل الدهنيات ومائيات الكربون على حدة. ويقدر معامل التنفس اللاأزوتى؛ ومن هذا المعامل يمكن معرفة نسبة كل من الدهنيات ومائيات الكربون المستعملة (جدول ٤) .

تمثيل البروتين فى الصيام : تعرف كمية البروتين المستعمل بالجسم من مقدار إفراز الأزوت فى البول كما سبق . ويمكن تقسيم التمثيل الغذائى للبروتينات وقت الصيام إلى ثلاث مراحل

ا — المرحلة الأولى أى مرحلة التعديل : (Adjustment) ومدتها تتراوح بين أربعة أيام وخمسة . ويفرز كل شخص خلال هذه المدة كمية مختلفة عن الآخر من الأزوت. وتتوقف كمية الأزوت التى تفرز على.

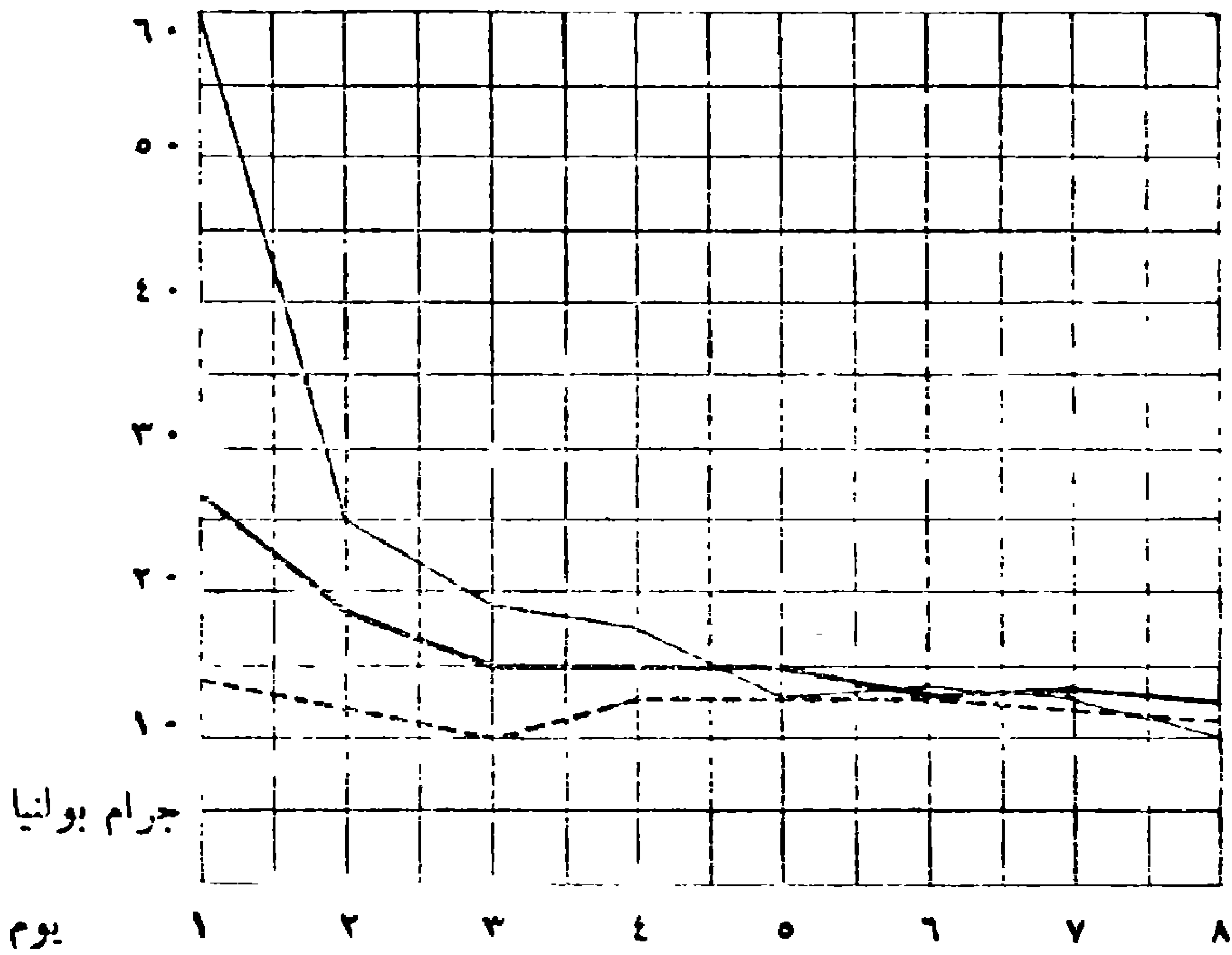
(١) كمية النشاء الحيوانى المخزون بالكبد . فاذا احتوى الكبد على كمية كبيرة منه عند بدء الصيام استخدم هذا النشاء بسرعة فى اليوم الأول وباستخدام هذا النشاء يدخر الجسم مواده البروتينية فلا تستعمل لتوليد

---

(١) طريقة كلدال : يضاف إلى كمية معينة من البول حامض الكبريتيك المركز الخالى من الأزوت وقليل من كبريتات النحاس وكبريتات البوتاسيوم (كعوامل مساعدة) . فيتحول كل الأزوت الموجود بالبول إلى كبريتات الأمونيا — ثم تطرد الأمونيا بواسطة الصودا الكاوية — وتقدر الأمونيا المنبعثة بمعادلتها بحامض كبريتيك معروف القوة .

الطاقة ؛ وعلى ذلك يكون إفراز الآزوت فى اليوم الأول من الصيام أقل منه فى اليوم الثانى .

(٢) كمية المواد البروتينية التى كان يتعاطاها الانسان قبل الصيام . فاذا احتوى الطعام على كميات كبيرة من البروتين فانه عند الصيام يبدأ إفراز الآزوت فى البول عاليا ثم ينخفض تدريجاً ، حتى يصل فى اليوم الرابع أو الخامس إلى كمية ثابتة تقريبا . وأما إذا كانت كميات البروتين فى الطعام قليلة قبل الصيام ، وكانت كميات مائيات الكربون والدهون كبيرة ، فربما ازداد



اخراج البولينا وقت الصيام

الخط الرفيع — كان الحيوان يتعاطى ٢٥٠٠ جم من اللحم يوميا قبل الصيام

الخط السميك — ١٥٠٠ جم من اللحم يوميا

الخط المنقط — كمية ضئيلة جدا من اللحم يوميا

(شكل ٣٩)

إفراز الآزوت بالبول بعد الصيام تدريجاً حتى اليرم الرابع والخامس حيث يصل إلى كمية ثابتة . ويبين شكل (٣٩) تجربة قام بها فوات على كلب فأعطاه مقادير مختلفة من اللحم يوميا قبل الصيام وقدر كمية البولينا التى يخرجها الحيوان يوميا بالبول عند صيامه . ويلاحظ أنه عندما كان الحيوان

يتعاطى ٢٥٠٠ جرام من اللحم يوميا قبل الصيام بدأ إخراج البولينا عاليا ثم هبط تدريجا إلى مستوى ثابت فى ظرف خمسة أيام. وحينما كان الكلب يتعاطى كميات أقل من اللحم قبل الصيام قل إخراج البولينا فى أيام الصيام الأربعة الأولى ولكنه وصل إل نفس المستوى الثابت بعد ذلك

ب — المرحلة الثانية أو الحالة الثابتة : (steady state) تكون كمية الأزوت التى تفرز بالبول فى هذه المرحلة بين ١٠ و ١٢ جراماً يوميا، وتقل تدريجا ببطء باستمرار الصيام ؛ ويتبع ذلك قلة كميات البروتوبلازم بالجسم ويقدم البروتين الذى يؤكسد بالجسم وقت هذه المرحلة ١٧ ٪ من الطاقة الكلية ، ويأتى باقى الطاقة من أكسدة الدهنيات . ولاستعمال هذه الكمية من البروتين وقت الصيام — مع أن البروتين أساسى للبروتوبلازم — أهمية عظمى ، إذ يتحول جزء منه إلى سكر الدم وبذلك تمنع الوفاة من قلته ، كما يقل تكوّن الأحماض الخلونية التى تنتج من استعمال أكسدة الدهنيات بدون أكسدة مائيات الكربون فى نفس الوقت ، وتتوقف مدة هذه المرحلة على كمية الدهن المخزون بالجسم وتنتهى عندما يستعمل هذا الدهن .

ح — المرحلة الثالثة ، أى مرحلة ارتفاع التمثيل الغذائى للبروتين التى تسبق الوفاة : (Premortal rise) : عندما تستعمل كل الكميات الدهنية المخزونة بالجسم يضطر الجسم للحصول على الطاقة كلها من بروتين البروتوبلازم، وبذلك تزداد كميات الأزوت فى البول فجأة وتحدث الوفاة بعد ذلك بأيام قليلة . وقد أمكن معالجة الحيوانات بعد وصولها إلى هذه المرحلة

تمثيل الدهنيات : تتوقف مدة الصيام على كمية الدهن المخزون بالجسم إذ يعتمد الجسم على الدهن للحصول على نحو ٨٣ ٪ من الطاقة اللازمة له . ويستخدم الدهن المخزون (store fat) لذلك كالدهن الموجود تحت الجلد وفى المساريق . وأما دهن الأنسجة نفسها (tissue fat) الذى يدخل فى تركيب البروتوبلازم فلا يستعمل بتاتا ، فنرى مثلا أن المخ — الذى يعتبر أغنى عضو

بما يسمى دهن الأنسجة — لا يفقد شيئا منه خلال الصيام بتاتا .

ولما كانت كميات مائيات الكربون التى تؤكسد بالجسم قليلة وقت الصيام فاننا نرى أن أكسدة المواد الدهنية لاتكون تامة الى ثانى أكسيد كربون وماء بل تقف عند درجة الأحماض الخلونية فتتراكم بالدم هذه الأحماض وهى حامض هيدروكسيبيوتيريك وحامض أسيتوأسيتك (hydroxybutyric & aceto acetic acid)— وهذه تقلل من احتياطى القواعد (alkali reserve) بالدم ومن ضغط ثانى أكسيد الكربون فى الحويصلات الهوائية . وتقل أيونات الايدروجين بالدم . وتراكم هذه الخلونات مضر بالجسم إذ يدعو إلى هبوط فى المراكز العصبية قد ينشأ عنه غيبوبة .

تمثيل مائيات الكربون : يستعمل المخزون من النشاء الحيوانى فى الكبد فى اليوم الأول من الصيام . أما نشاء العضلات فلا يتأثر كثيرا بالصيام ولو أنه يقل أيضا . وتظل نسبة كمية السكر بالدم ٠٫٠٨ جم فى كل ١٠٠ سم^{3} ، وينشأ هذا السكر من البروتين ويحدث هذا التحويل فى الكبد ، حيث أنه لو استؤصلت الكبد لانخفض سكر الدم بسرعة وتسبب عن ذلك الوفاة .

تأثير المجهود الرياضى : فى حالة الصيام يستمد الجسم الجزء الأعظم من الطاقة اللازمة لعمل أى مجهود رياضى من أكسدة الدهنيات . ولا يزيد المجهود الرياضى وقت الصيام أكسدة البروتين إلا قليلا جداً ، فقد وجد أن نحو ٧ ٪ فقط من الطاقة اللازمة للمجهود تستمد من البروتين ، وعليه نرى أن معامل التنفس لطاقة المجهود الرياضى نحو ٠٫٧١ إلى ٠٫٧٣

البول وتمثيل الأملاح الغير العضوية فى الصيام

يقل مقدار البول فى الصيام وتتوقف كمية الأزوت الكلى به على مرحلة الصيام . وتنخفض النسبة المئوية للبولينا ، وذلك لأن نسبة النشادر تزداد وتسبب زيادة نسبة النشادر من وجود الحموضة . وقد يفرز نحو ١٠ جرامات

من الأحماض الخلونية يوميا ويفرز الكرياتين بالبول بدلا من بعض الكرياتينين . ويستمر إفراز الكبريت والفوسفور اللذين يشتقان من بروتوبلازم الأنسجة المستعملة ، فقد وجد أن نسبة $\frac{\text{الكبريت}}{\text{الازوت}}$ فى البول تعادل نسبة $\frac{\text{كب}}{\text{ز}}$ فى العضلات . ولو أن بعض البحاثين يدعى أن بعض الكبريت يحفظ بالجسم . ويستدل من ذلك على أن الجسم يحافظ على الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت والتى لها أهمية عظمى فى أكسدة واختزال المواد بالجسم . وفى الصيام يقل الصوديوم من البول فى حين يزداد البوتاسيوم الذى يشتق أيضا من الأنسجة ويستمر افراز الكالسيوم والمغنسيوم اللذين يشتقان من التحلل الذاتى (autolysis) للعظام . ومما هو جدير بالذكر أنه وجد فى تجارب عملت على الطيور أن العظام القليلة الأهمية — كعظام الجمجمة المفرطحة — تفقد ملح الكالسيوم لتحفظ نسبته فى الدم ، فى حين أن عظام الأجنحة المهمة تحتفظ بحالتها الطبيعية .

التمثيل الغذائى الخاص

Special Metabolism

الباب الخامس عشر

التمثيل الغذائى للبروتينات

امتصاص البروتينات : رأينا مما تقدم أن بروتينات الطعام تتحلل بوساطة الخمائر الهضمية — پپسين وترپسين وإيرپسين — إلى أحماض أمينية. وتمتص هذه الأحماض الأمينية فى الشعريات الدموية التى تكون الوريد البابى . وقد كان يظن قديماً أن جزيئات البروتين تتكون ثانية وقت الامتصاص من الأمعاء . وذلك لعدم المقدرة على إثبات وجود أحماض أمينية فى الدم . وقد ظن بعضهم أيضاً أن مجموعات الأمين الموجودة بالأحماض الأمينية تفصل منها وقت امتصاصها فى الامعاء ، وذلك لوجود كمية من النشادر كبيرة فى الدم الموجود بالوريد البابى ؛ ولكن قد ثبت خطأ هذه النظرية أيضاً كسابقتها . وأما السبب فى زيادة كمية الأمونيا بالوريد البابى فهو امتصاص بعض الأمونيا المتكونة فى الأمعاء الغليظة بتأثير البكتريا الموجودة هناك . ولقد ثبت الآن قطعياً أن الأحماض الأمينية تمتص كما هى بالدم ، وذلك بعد أن اكتشف ڤان سلايك وفولين وأبدرهالدين (Van Slyke & Folin & Abderhalden) طرقاً جيدة لتقدير كميات الأحماض الأمنية فى الدم . وقد فصل آبل (Abel) معظم الأحماض الأمينية من الدم

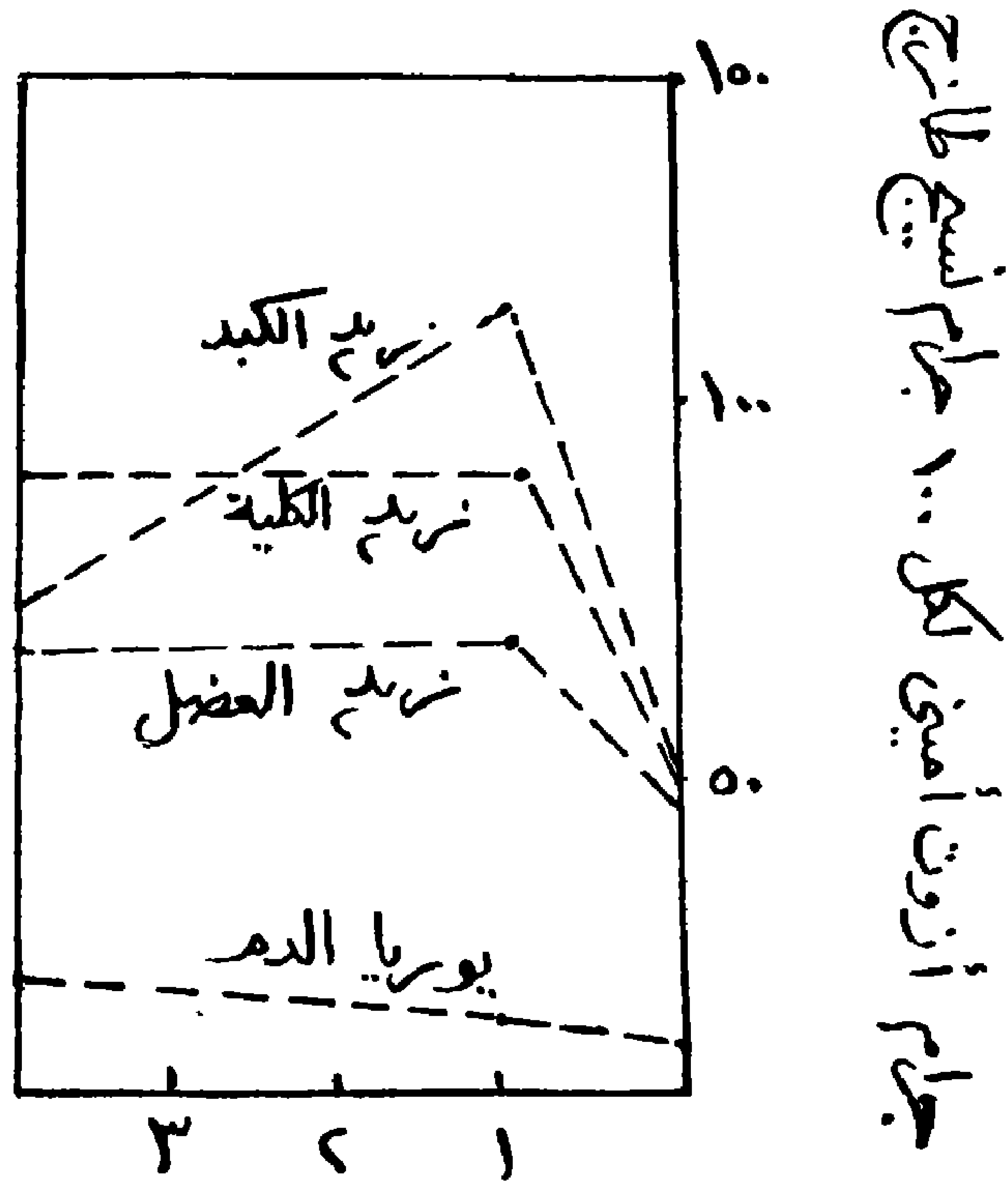
بوساطة مفرقات غروية (collodion sacs.) تركب فى مجرى الدورة الدموية فى الحيوان الحى .

وليس هناك أى امتصاص للأحماض الأمينية فى المعدة . ويحدث معظم الامتصاص فى الأمعاء الدقيقة ؛ وللأمعاء الغليظة بعض القدرة على امتصاص الأحماض الأمينية ، ولو أنه فى العادة عند وصول محتويات الأمعاء الدقيقة إلى المعى الأعور يكون معظم الأحماض الأمينية قد امتص فى الدم .

ولا تمتص البروتينات والبروتيوزات والپپتونات عادة فى الدم قبل تمام هضمها . وقد تمتص هذه الجزيئات الكبيرة فى الدم فى أحوال نادرة ، وخصوصاً فى الأطفال الصغار . فإذا وجدت البروتيوزات أو الپپتونات سبيلها إلى الدم فإنها لا تستعمل[1] بالجسم بل تفرز بالبول ؛ ولكن وجودها بالدم يدعو إلى توليد أجسام مضادة لها (Antibodies) ، لها المقدرة على ترسيبها بالجسم إذا امتصت إلى الدم مرة أخرى . وتسبب هذه الحالة أعراضاً شديدة وهبوطاً فى الدورة الدموية وإعياء وربما سببت الوفاة (Anaphylactic Shock)

ويوجد فى الدم وقت الصيام من ٥ — ٧ ملليجرامات من أزوت أحماض أمينية فى كل ١٠٠ سم٣ . وتزيد هذه الكمية إلى ٨ — ١٢ ملليجرامات وقت امتصاص الأحماض الأمينية من الأمعاء . وتأخذ أنسجة الجسم (كالكبد والعضلات والكلية) الأحماض الأمنية من الدم بشراهة شديدة ، فتزيد فيها كلها كمية الأحماض الأمينية وقت الامتصاص . وتقل كمية الأحماض الأمينية بالكبد بعد الامتصاص بسرعة ، فى حين تبقى الكمية عالية مدة أطول فى الأعضاء الأخرى ؛ وفى الوقت نفسه تزداد كمية البولينا بالدم . ويبين شكل ٤٠ هذه العلاقات .

(١) فى بعض التجارب الحديثة وجد أن سيرم دم الحصان إذا حقن فى الكلاب يمكن تمثيله بالجسم ؛ ولكن هذا التمثيل محدود إذ أن بعد عدة أيام تتولد الأجسام المضادة ، وتدعو هذه الأجسام المضادة إلى ترسيب السيرم إذا حقن مرة أخرى .



(شكل ٤٠) (فان سلايك)

استعمال البروتينات

تستعمل الأنسجة الأحماض الأمينية فى إحـدى الطرق الآتية :

أولا — يستعمل جزء منها فى تعويض البروتوبلازم عما يفقده ويستهلكه فى التفاعلات الطبيعية والكيميائية للحياة (Wear and tear)

ثانياً — يستعمل جزء آخر فى تحضير الافرازات بالغدد المختلفة . فمثلا يتحول التيروزين إلى ثيروكسين بوساطة الغدة الدرقيـة ، وإلى أدرينالين بوساطة الغـــدة فوق الـكلية . كما أن معظم الخمائر تتركب من أحماض أمينية . وفى حالات الرضاعة تستعمل غدد الثديين كثيرا من الأحماض الأمينية لبناء بروتينات اللبن .

ثالثاً — يستعمل جزء فى بناء بروتوبلازم جديد فى الطفل النامى وفى المرأة الحامل ، وأما فى الشخص البالغ فانه لايبنى بروتوبلازم جديد إلا فى

حالة النقاهة من مرض ينشأ عنـــه نقص فى وزن الجسم ، أو عنـــد التمرينات البدنية .

رابعاً — يعتقد بعض العلماء أن للجسم المقدرة على خزن كمية محدودة من البروتينات إذا زادت كميات البروتين بالطعام ؛ ولا يدخل هذا البروتين المخزون فى تركيب البروتوبلازم الحى ولـكنه يوجـــد بحسب رأى بوثبى (Boothby) تحت الجلد وفى الـكبد . وأكبر كمية يمكن خزنها بهذه الطريقة هى كيلو جرامان من البروتينات تخزن مع أربعة أمثالها فى الحجم من الماء وهذا البروتين المخزون يستعمل بسرعة فى الأيام الاولى من الصيام ، وهو سبب الزيادة فى إفراز الأزوت بالبول فى الأيام الأولى من الصيام إذا كان مسبوقاً بتعاطى كميات كبيرة من البروتينات (انظر ص١٧٤)

خامساً — أما الأحماض الأمينية التى لاتستعمل فى أحد الأوجه السابقة فانها تفقد مجموعات الأمين الموجودة بها وتتحول هذه المجموعات باتحادها مع ثانى أكسيد الـكربون إلى بولينا ، فى حين يستعمل ماتبقى من جزىء الحمض الأمينى الخالى من الأزوت فى إحدى الطرق الآتية :

ا — يتأكسد إلى ثانى أكسيد كربون وماء فيعطى طاقة .

ب — يتحول إلى مائيات الـكربون .

حـ — وأما إذا كانت مخازن مائيـات الـكربون ملأى فانه يتحول إلى دهن .

وتمتاز البروتينات عن مائيات الـكربون وعن الدهن فى أنها أساسية لبناء البروتوبلازم الذى يتـكون معظمه منها ، وفضلا عن ذلك فان الاحماض الامينية التى لايحتاج اليها الجسم لبناء البروتوبلازم تتأكسد بالجسم وتـكسبه طاقته كما هى الحالة فى مائيات الـكربون والدهون .

التوازن الأزوتى (Nitrogen Equilibrium)

يسمى الشخص فى توازن أزوتى إذا كانت كمية ما يأخذه من الأزوت فى بروتينات الطعام مساوية للكمية التى يفقدها الجسم من الازوت فى الافرازات المختلفة . أما إذا زادت كمية الازوت فى الطعام عن الكمية التى تفرز من الجسم فان الشخص يكون فى ميزان أزوتى موجب (Positive Nitrogen balance) وبالعكس ، إذا قلت الكمية فى الطعام عما يفرز من الجسم كان الشخص فى ميزان أزوتى سالب (Negative nitrogen balance) ويخرج الازوت من الجسم بالطرق الآتية :

١ — يخرج معظم الأزوت بالبول ويكون معظمه على هيئة بولينا .

٢ — يخرج نحو جرام واحد الى ١,٣ جرام يوميا بالبراز ويوجد الأزوت بالبراز حتى فى حالات تعاطى طعام خال من الأزوت إذ أن أزوت البراز لا يمثل فقط أزوت الطعام الذى لا يمتص لكنه يمثل أيضا إفرازات الامعاء وجزء كبيرا من البكتيريا (ص ١١٠)

٣ — تفقد كميات قليلة من الأزوت بالعرق ؛ ولكن إذا كان العرق غزيراً زادت كمية الأزوت التى تخرج إلى نحو ٤ ٪ من المجموع الكلى .

٤ — تفقد كميات قليلة يمكن إهمالها فى سقوط الطبقات السطحية للجلد وفى نمو الشعر والأظافر .

٥ — تفقد المرأة نحو ٣ جرامات من الأزوت كل شهر فى دم الحيض

٦ — تفقد المرضع من ٢ — ٣ جرامات يوميا من الأزوت فى بروتينات اللبن .

ويكون الميزان الأزوتى موجباً فى الأطفال ، حيث تحجز كميات من أزوت الطعام بالجسم وتستعمل فى البروتوبلازم الجديد اللازم للنمو .

وأما فى الأشخاص البالغـــين فلا يوجد ميزان أزوتى موجب إلا فى الأحوال الآتية :

ا — فى الإناث الحوامل ، حيث يستعمل الازوت فى بناء پروتوپلازم الجنين .

ب — عند التمرينات البدنية ، وتنبه هذه التمرينات نمو العضلات فى الكبار فيحجز الجسم بعضا من أزوت الطعام لتكوين البروتوبلازم الزائد بالعضلات .

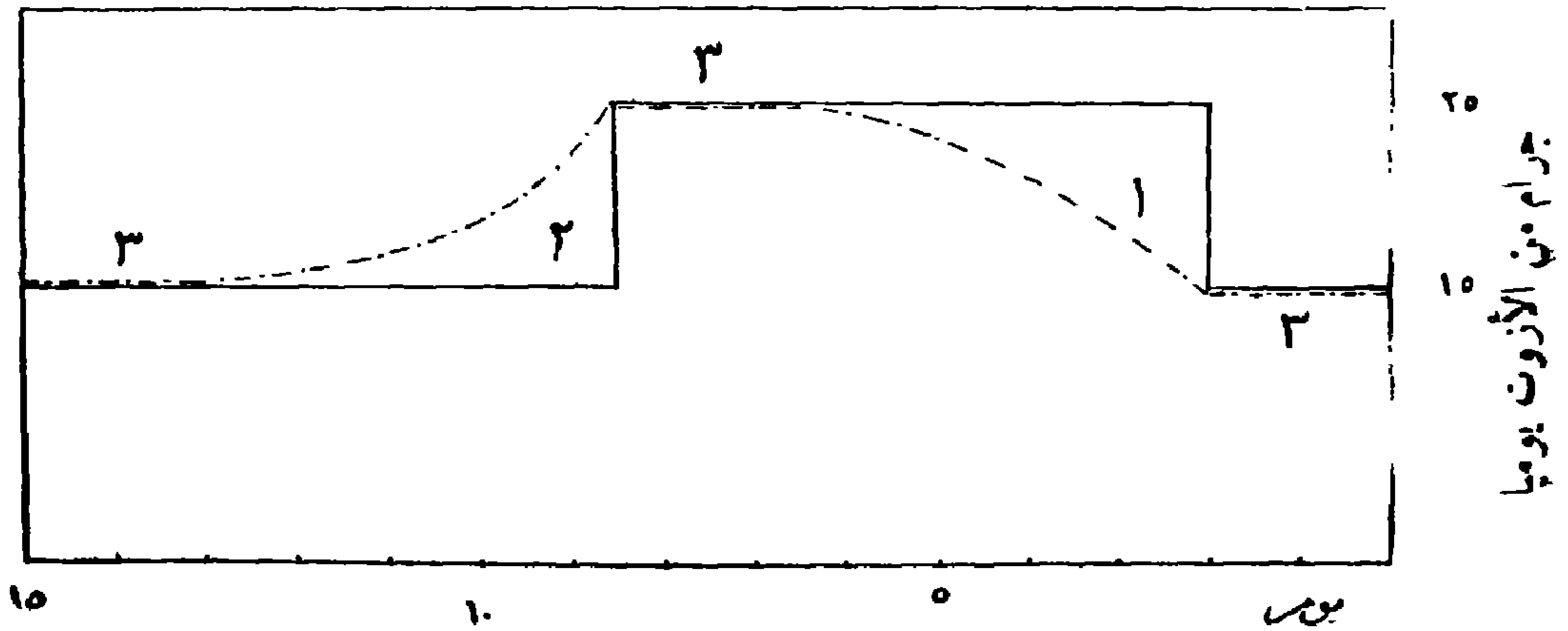
حـ — فى مدة النقـاهة من مرض يسبب نقصاً كبيراً فى وزن الجسم (convalescence from a wasting disease.) . يقـل وزن الجسم فى أمراض كثيرة — كالحميات — . وفى دور النقاهة من هذه الأمراض يحجز الجسم بعضاً من أزوت الطعام ليكون پروتوپلازما جديداً بدلا عـا فقده وقت المرض .

وفيما عدا ذلك يكون الشخص البالغ فى توازن أزوتى . وقد يكون هذا التوازن عند أى كمية من الأزوت تزيد عن نهاية صغرى معينة . فلنفرض مثلا أن شخصا يتعاطى يوميا ١٥ جراما من الأزوت بالطعام . ويفقد يوميا ١٥ جراماً فى الافرازات المختلفة ، فاذا زدنا كمية الآزوت فى الطعام إلى ٢٥ جراماً يوميا فاننا نرى أن كمية الأزوت التى يفقدها الجسم تزداد تبعا لذلك حتى تصير ٢٥ جراماً يوميا . ويحدث التوازن الأزوتى فى درجة أعلى من الأولى ؛ ولـكن هناك أربعة أو خمسة أيام عند أول زيادة الأزوت فى الطعام يوجد بها ميزان أزوتى موجب ، إذ أن كمية الأزوت الذى يفرز لا تزداد مباشرة إلى ٢٥ جراماً ، ولـكن يحدث ذلك تدريجياً . وهكـذا نجد أن بعضا من الأزوت تحجز فى هذه الأيام الأولى بالجسم . وتحجز هذه الـكمية بأحد الهيئتين الآتيتين :

١ — كزيادة فى كميات الأزوت الغير البروتيني كالبولينا والأحماض الأمينية بالدم والأنسجة . ولهذه الزيادة أهمية فسيولوجية إذا أنه إذا أردنا زيادة كمية البولينا التى تفرز بالبول وجب أن تزيد كميتها بالدم إذا بقى كل شيء آخر يتعلق بافراز البول كضغط الدم وكمية الدم التى تمر بالكلى ثابتا .

٢ — كبروتين مخزون تحت الجلد وفى الكبد (Store Protein) وكمية البروتين التى يمكن خزنها بهذه الطريقة محدودة (أنظر ص ١٨١)

فاذا ما أنقصت كمية الأزوت فى الطعام ثانية إلى ١٥ جراماً يوميا نقصت تبعا لها كمية الأزوت التى تفرز . ويحدث التوازن الأزوتى عند كمية الأزوت الأقل ، ولكن يسبق التوازن الأزوتى مدة ٤ أو ٥ أيام بها توازن أزوتى سالب ، وتسبب زيادة إخراج الأزوت من :



شكل (٤١)

——— كمية الأزوت التى تؤخذ بالطعام يوميا

- - . - - كمية الأزوت التى يخرجها الجسم يوميا

١ — ميزان أزوتى موجب

٢ — ميزان أزوتى سالب

٣ — توازن أزوتى

ا — نقص الأزوت الغير البروتيني بالدم والأنسجة .

ب — استعمال البروتين المخزون إن وجد .

ويبين شكل (٤١) هذه العلاقات

النهاية الصغرى للتوازن الأزوتى (Minimum N_2. Equilibriun)

قد رأينا فى (ص ١٧٥) أن الجسم يفقد نحو ١٠ — ١٢ جراما من الأزوت يوميا فى الصيام الكامل . وليست هذه الكمية بمقياس لأقل مستوى للتمثيل البروتينى فى الجسم ، إذ أن عدم وجود مائيات الكربون بالطعام يدعو إلى زيادة التمثيل الغذائى للبروتينات ، فمائيات الكربون توفر البروتينات من أن تستعمل فى صرف الطاقة بالجسم (Protein sparer) .

إذا أردنا أن نحصل على توازن أزوتى بإعطاء الشخص الصائم بروتينات فقط فى الطعام فإننا نرى أن الكمية التى تلزم هى نحو ٣٥ جراماً أزوت يوميا . أى ثلاثة أمثال ونصف مثل الكمية التى تفرز وقت الصيام ، وذلك لأن مجرد إعطاء البروتينات للصائم يزيد من كمية الأزوت المفرز .

ولكى نقلل التمثيل الغذائى للبروتينات بالجسم فيجب أن نعطى فى الطعام كميات كبيرة من مائيات الكربون . ولما كانت المواد البروتينية غالبا أغلى أصناف الطعام فان تقدير النهاية الصغرى للتوازن الأزوتى فى غاية الأهمية من الوجهة الاقتصادية خصوصا فى حالات تموين عدد كبير من الأشخاص كما هى الحالة فى إطعام الجيوش وقت الحرب أو المسجونين أو العمال ومن إليهم ؛ إذ أنه يراد فى هذه الحالات أن يكون الطعام صحيا لا يدعو إلى فقد بروتوبلازم الجسم . وفى الوقت نفسه يجب ملاحظة تكاليف التموين .

إذا أعطى شخص طعاماً خالياً من الأزوت تماماً وبه مقادير كبيرة من مائيات الكربون والدهون — تولد بالجسم من الطاقة على الأقل ضعف التمثيل الغذائى القاعدى — أمكن إنقاص التمثيل الغذائى البروتينى إلى أقل كمية ممكنة ؛ إذ أن مائيات الكربون تمنع البروتين من أن يستعمل فى صرف الطاقة بل تبقيه فقط للاستعمال فى تعويض البروتوبلازم عما يفقده فى الأعمال المختلفة . ففى هذه الحالة أمكن إنقاص كمية الأزوت المفرزة إلى ١,٨ من الجرام يوميا فى البول و ١ جرام فى البراز ، أى أنه أمكن إنقاص

البروتين المستعمل بالجسم إلى ٢,٨ × ٦,٢٥ = ١٧,٥ جرام . وهى الكمية التى تمثل أقل تمثيل غذائى للبروتينـــات فى الجسم . ولا يمكن إنقاصها أو اجتنابها بأى حال من الأحوال ، إذ أنها تمثل استهلاك البروتوبلازم (wear and tear) فى التفاعلات الطبيعية والكميائية التى تكون الحياة .

فلو أردنا أن نحصل على توازن أزوتى عند أقل كمية بإعطاء الشخص نحو ٢٠ جراماً من البروتين يومياً ، نجد أن ذلك غير ممكن إذ أنه بمجرد إعطاء البروتينات فى الطعام تزداد كمية الأزوت الذى يفرز فوق أقل كمية ممكنة . ولقد أعطى العلماء تقديرات مختلفة للنهاية الصغرى للتوازن الأزوتى ، ولكن أقل كمية كانت ٠,٣٩ من الجرام بروتين لكل كيلوجرام من وزن الجسم فى كل يوم . ومعظم التقديرات تقع بين ٢٥ إلى ٤٠ جراماً من البروتين فى اليوم الواحد .

وللحصول على توازن أزوتى عند هذه النهاية الصغرى يجب اتباع التعليمات الآتية :

أولا : يجب أن يكون الطعام ذا قيمة حراريه كبيرة . فمثلا فى إحدى التجارب التى قام بها تزونتز على نفسه وجد أنه فى ميزان أزوتى سالب إذا تناول يوميا ٦٠ جراما من البروتين وكانت القيمة الحرارية للغذاء ١٦٠٠ سعر كبير فقط ، فى حين أمكنه أن يكون فى توازن أزوتى إذا كانت القيمة الحرارية للطعام ٣٠٠٠ سعر حرارى كبير وكانت كمية البروتين ٤٠ جراما فقط يوميا .

ثانيا : يجب أن يكون البروتين ذا قيمة غذائية عالية (nutritional value) وتتوقف قيمة البروتين الغذائية على :

١ — معامل البروتين الهضمى (Coefficieint of Digestibility) ، وهذا المعامل يساوى : $\frac{\text{كمية الازوت التى تمتص الى الدم}}{\text{كمية الازوت الكلية فى الطعام}}$ × ١٠٠ . ويمكن تقدير كمية الأزوت التى تمتص إلى الدم بواسطة تقدير زيادة الأزوت فى البراز عند تعاطى الطعام البروتينى . وهذه الزيادة تمثل أزوت الطعام الذى لم يمتص .

وبطرح هذه الزيادة من القيمة الكلية للأزوت بالطعام نحصل على كمية الأزوت التي تمتص إلى الدم .

وأصلح بروتين من هذه الوجهة هو الذى لا يزيد كمية الأزوت فى البراز بتاتاً بعد تعاطيه ، ويكون المعامل الهضمى فى هذه الحالة ١٠٠٪ ، أى أن كل ما أخذ فى الطعام من البروتين قد امتص فى الدم لاستعماله بالجسم . وقد وجد أن البروتين الذى من أصل حيوانى أحسن من هذه الوجهة من البروتين الذى من أصل نباتى . لأن بروتين الحيوان له معامل هضمى بين ٩٥ و١٠٠٪ فى حين أن بروتين النبات له معامل ما بين ٨٠ و٨٥٪ ، وذلك لأن جدران الخلايا النباتية المكونة من الخليوز لا يمكن هضمها بجسم الإنسان ، فتمنع الهضم الكامل والامتصاص لبروتين الطعام بداخلها وخصوصا إذا لم يكن الطعام مطبوخا جيدا .

٢ — القيمة الحيوية للبروتين (Biological value) : يتركب البروتين — كما سبق أنفا — من عدد كبير من الأحماض الأمينية المختلفة . فبعض البروتينات ينقصها واحد أو أكثر من الأحماض الأمينية التى تكون البروتوبلازم . وللجسم مقدرة على تحويل بعض الأحماض الأمينية إلى أخرى ؛ ولكن هناك عددا منها لا يمكن بأى حال من الأحوال للجسم أن يصنعه ، ويلزم أن يكون موجودا فى الطعام بكميات مناسبة . وأما هذه الأحماض الأساسية فهى تربتوفين وسستين ولـيسين وفنيل ألانين وتيروزين وهستيدين وربما كان من ضمن الأحماض الأمينية الأساسية أيضا أرجنين وبرولين وأيسوليوسين . فاذا كان البروتين الذى يؤخذ فى الطعام ينقصه واحد أو أكثر من هذه الأحماض الأمينية الأساسية (essential amino acids) لا يمكن لهذا البروتين أن يحفظ الجسم فى أى توازن أزوتى مهما كان كبيرا ، فضلا عن حفظ الجسم عند النهاية الصغرى للتوازن الأزوتى . فمثلا ينقص البروتين زين (zein) ، وهو البروتين الأساسى فى الذرة التربتوفين والليسين ،

وينقص الچيلاتين التربتوفين والتيروزين وبه كميات قليلة جدا من السستين. فهذان البروتينان لايمكنهما بأى حال من الأحوال أن يحفظا الجسم فى توازن أزوتى إذا ما كانا هما البروتينان الوحيدان فى الطعام. فقد عملت تجارب على فيران أعطيت طعاماً كاملا من كل الوجوه (من حيث القيمة الحرارية ووجود مائيات الكربون والدهون والأملاح الغير العضوية والفيتامينات) ولكن كان البروتين الوحيد فى الطعام هو البروتين زين. وقد نقص وزن هذه الفيران تدريجا حتى الوفاة، وأما إذا زيد فى الطعـــام التربتوفين والليسين — وهما الحمضان الامينيان اللذان ينقصهما البروتين زين فان الحيوانات تحفظ توازنها الأزوتى بل تنمو الحيوانات الصغيرة كأى حيوان آخر يأخذ طعاما كاملا.

يستنتج من ذلك أنه إذا أردنا أن نحصل على النهاية الصغرى للتوازن الأزوتى وجب أن يكون البروتين محتويا على جميع الأحماض الأمينية الاساسية. وكلما كانت هذه الأحماض موجودة تقريبا بنسبة وجودها فى بروتوبلازم الجسم قلت الكمية اللازمة منها فى الطعام لحفظ الجسم فى توازن أزوتى. وقد اتبعت عدة طرق لتقدير القيمة الغذائية للبروتين ومنها ما يأتى:

✓ (١) يقارن البروتين الذى يراد معرفة قيمته الغذائية ببروتين جيد يعتبر مستوى أمثل (Standard) للقيمة الغـذائية كزلال اللبن (Laetalbumin)، فتقدر كمية الأزوت اللازمة لحفظ الجسم فى النهاية الصغرى للتوازن الأزوتى فى حالتى زلال اللبن والبروتين الآخر. فمثلا إذا لزم ستة جرامات من الأزوت على شكل زلال اللبن و١٠ جرامات على شكل البروتين الآخر لحفظ الجسم فى النهاية الصغرى للتوازن الأزوتى كانت القيمة الغذائية للبروتين الآخر تساوى تقريباً $\frac{٦}{١٠}$ × ١٠٠، أى ٦٠ ٪ من المستوى الأمثل.

✓ (٢) أضيف البروتين المراد تقدير قيمته الغذائية إلى طعام كامل من كل الوجوه خال من البروتينات الأخرى. وقد أعطى هذا الطعام لحيوانات

فى دور النمو ؛ وحسبت القيمة الغذائية للبروتين بنسبة زيادة وزن الجسم بالجرام لكل جرام من البروتين أكل فى الطعام .

(٣) أضيف البروتين المراد تقدير قيمته الغذائية لطعام كامل من كل الوجوه الأخرى لحيوانات صغيرة ؛ وقدرت نسبة البروتين فى الطعام اللازمة لحفظ تغذية الجسم من جميع الوجوه ، أى من حيث النمو الطبيعى والصحة والإخصاب للحيوانات . واستمرت التجارب على الأقل لمدة ثلثى متوسط ما يعيشه الحيوان من العمر . وقد وجد بهذه الطريقة أنه يمكن تقسيم البروتينات من حيث قيمتها الغذائية إلى ثلاثة أقسام :

ا — بروتينات جيدة جداً : ويجب أن تكون هذه بنسبة ٩ ٪ من الطعـام للحصول على النمو والصحة الكاملة والإخصاب . ومن هذه البروتينات تلك التى قدمها الله سبحانه وتعالى للطفل أو الحيوان فى دور النمو الأول كزلال اللبن وزلال البيض (ovalbumin) .

ب — بروتينات جيدة : وهذه يمكنها أن تحفظ النمو والحياة الطبيعية ؛ ولـكن يجب أن توجد بالطعام بنسبة أكثر من ٩ ٪ . فمثلا كازين اللبن يجب أن يوجد بنسبة ١٨ ٪ ، وذلك لأنه يحتوى على كميات من الحمض الأمينى سستين أقل من النسبة المطلوبة .

حـ — بروتينات رديئة : وهذه لا يمكنها حفظ الحياة بمفردها مهما كانت نسبتها كبيرة فى الطعام ومنها البروتينان زين وچيلاتين .

هذا ويجب ألا نظن أن هذه البروتينات الرديئة خالية تماماً من القيمة الغذائية ؛ إذ أن وجودها فى الطعام ينقص الكمية اللازمة من البروتينات الأخرى الجيدة لحفظ توازن الجسم الأزوتى . فمثلا مع أنه يلزم أن يكون زلال اللبن موجوداً فى الطعام بنسبة ٩ ٪ إذا كان بمفرده ؛ فان التوازن الأزوتى والصحة التامة أمكن الحصول عليها باعطاء ٤,٥ ٪ فقط من الطعام على شكل زلال اللبن و ١٣,٥ ٪ من الطعام على شكل الچيلاتين ، أى أن ما

ينقصه نوع من البروتينات من أحد الأحماض الأمينية قد يمكن الاستعاضة عنه بإضافة كمية من بروتين آخر يحتوى على هذه الأحماض الأمينيـــــة .

التوازن الأزوتى الصحى (Hygienic N_2 Equilibrium) إذا استمر شخص على النهاية الصغرى للتوازن الأزوتى مدة طويلة قلت قابليته للعمل وقلت مناعته للأمراض ، ففى المناطق الموجودة فى أواسط أوربا فى الحرب الماضية — حيث اتبعت النهاية الصغرى للتوازن الأزوتى فى تموين السكان — انتشرت أمراض السل الرئوى بدرجة أكثر من العادية ؛ ولذلك يرى أنه من المرغوب فيه أن تزاد كمية البروتين فى الطعام فوق النهاية الصغرى . وقد قدر حوالى ١,١ من الجرام من البروتين فى اليوم لكل كيلو جرام من وزن الجسم للشخص البالغ و ٤ جرامات لكل كيلو جرام من وزن الجسم فى الأطفال دون السادسة من العمر و ٢,٦ من الجرام للاطفال فوق السادسة . وقد قدرت لجنة من الجمعية الملكية الانجليزية أن مائة جرام من البروتين فى اليوم هى أحسن كمية صحية لازمـــــة ، بحيث يكون ثلثها على الأقل من أصل حيوانى .

طرد المجموعات الامينية من الأحماض الامينية

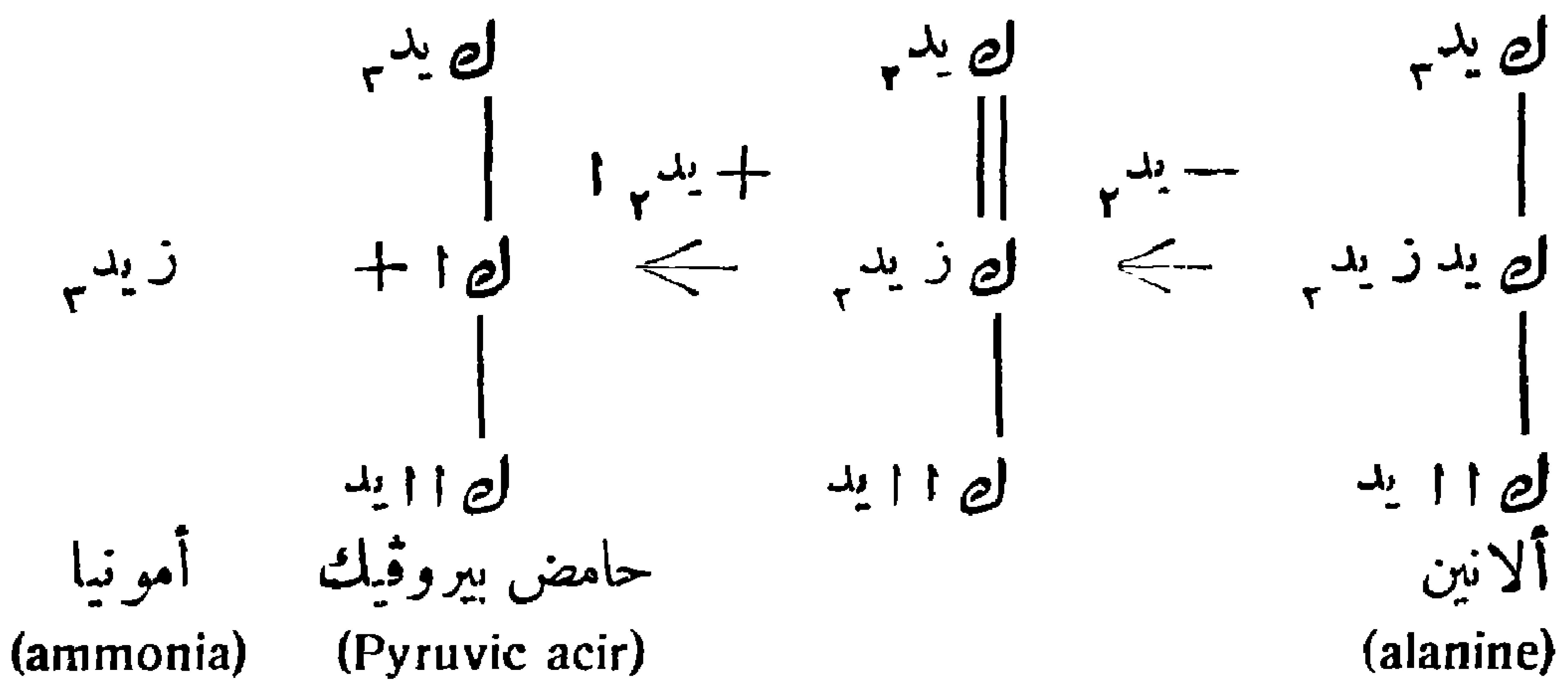
(Deamination)

تطرد المجموعات الأمينية من الأحماض الأمينية التى لاتستعمل فى ترميم البروتوبلازم فى الكبار أو فى تكوين بروتوبلازم جديد فى حالات النمو ، وما تبقى من الحمض الأمينى، أى الجزء الخالى من الأزوت ، يؤكسد بالجسم ، إما مباشرة لإعطاء طاقة ، أو بعد أن يخزن أولا بالجسم على شكل مائيات كربون أو دهون ، إذ أن الجزىء لايفقد كثيرا من قيمته الحرارية بعد طرد مجموعة الأمين منه ، وكل مايفقده هو نحو ٥ — ٢٠ ٪ من طاقته .

ويعتقد بعض العلماء أن طرد المجموعة الأمينية يحدث فى الكبد وحدها ،

وذلك لأنه إذا حقنا الأحماض الأمينية فى حيوان استؤصلت منه الكبد أمكن استخراجها ثانية كلها من الأنسجة ومن البول ، أما إذا حقنت الأحماض الأمينية فى حيوان عادى فلا يمكن ذلك إذ أن معظم الأزوت الموجود بها يفرز بالبول على هيئة بولينا . هذا وهناك رأى آخر، وهو أنه يمكن لأنسجة أخرى من الجسم — فضلا عن الكبد — أن تطرد المجموعات الأمينية من الحامض الأمينى . فمثلا وجد أنه لو أضيفت أحماض أمينية إلى شرائح من الكلية أمكن للنسيج الكلوى أن يطرد مجموعات الأمين منها . فإذا صح ذلك كان طرد المجموعات الأمينية ممكنا وقوعه فى أمكنة أخرى ، فضلا عن الكبد . ولكن ليس هناك خلاف فى أن الكبد هى المكان الوحيد لتحويل المجموعات الأمينية إلى بولينا .

ومن المعتقد به أن طرد المجموعات الامينيه يحدث مصحوبا بأكسدة الجزء الباقى من الحمض الأمينى (oxidative deamination) . فمثلا يتحول الحمض الأمينى ألانين إلى حامض بيروفيك (Pyruvic acid) وأمونيا بحسب المعادلة الآتية :



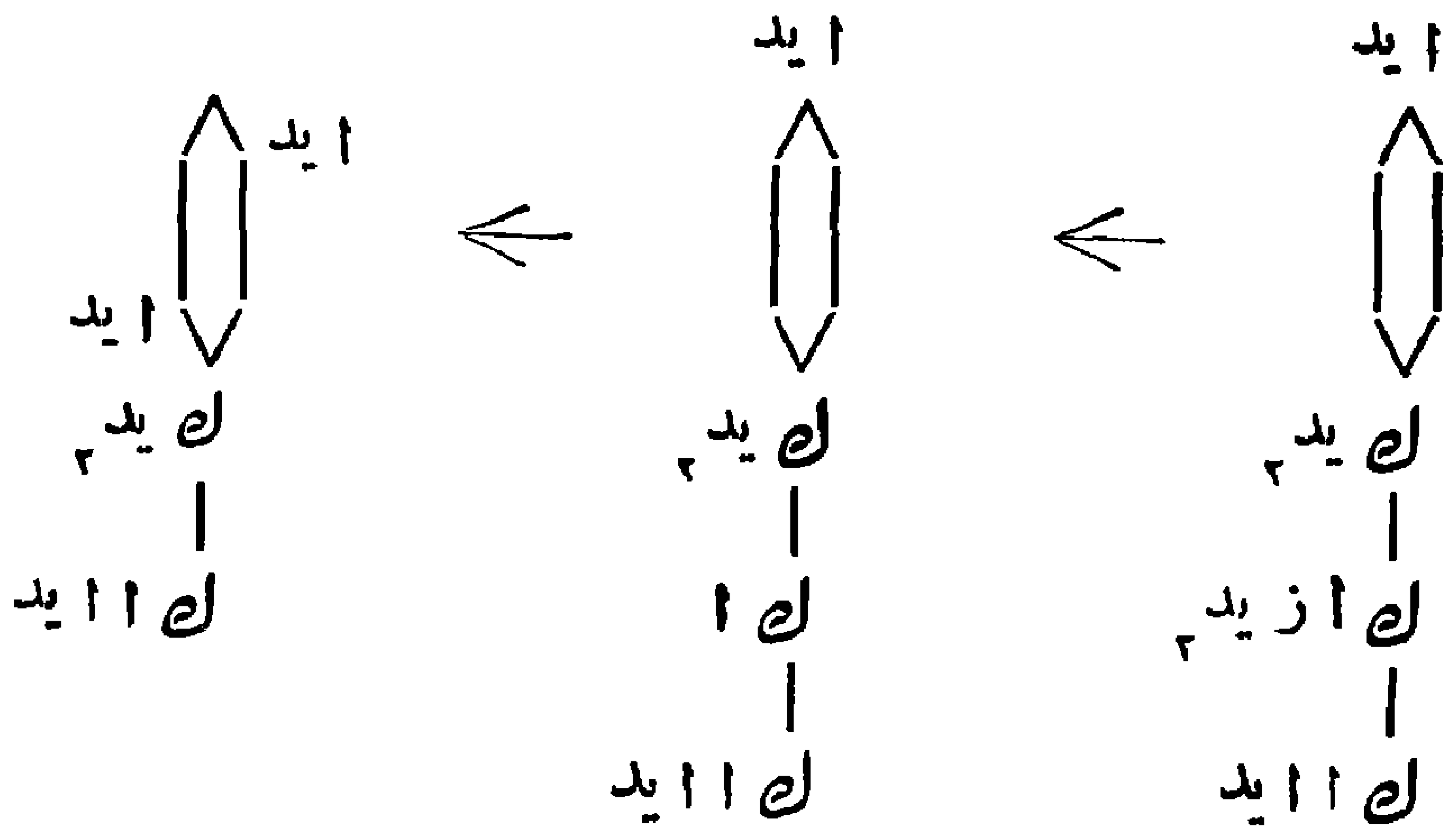
ويثبت ذلك ما يأتى :

(١) أمكن فصل الأحماض الكيتونية — كحامض بيروفيك — والأمونيا ، كنتائج لطرد المجموعات الأمينية من الأحماض الأمينية ، بوساطة الكبد .

(٢) تحتاج الخطوة الأولى فى المعادلة السابقة إلى وجود الخميرة طاردة الأيدروجين (dehydrogenase) وإلى وجود مادة قابلة لأخذ الأيدروجين (hydrogen acceptor) ولاستمرار هذه العملية يجب أن يكون الأكسجين موجوداً (أنظر باب التنفس النسيجى بالجزء الثانى). وقد وجد تجريبياً أن عملية طرد مجموعات الأمين لاتحصل إلا فى وجود الأكسيجين

(٣) فى حالات نادرة وراثية يوجد خطأ فى التمثيل الغذائى للحمضين الأمينين تيروزين وفينيل ألانين إذ لا يتأكسدان فى الجسم إلى ثانى أكسيد كربون وماء كالعادة ، ولكنهما يتحولان إلى حمض هوموچنتيزيك (Homogentisic acid) الذى يفرز بالبول. ولهذا الحمض المقدرة على اختزال محلول فهلنج ، وقد يؤدى ذلك إلى الاشتباه بوجود السكر بالبول. وإذا عرض البول الذى به حامض الهوموچنتيزيك للهواء وجعل تفاعله قاعدياً ، أسود لون البول، وذلك نتيجة أكسدة حامض الهوموچنتيزيك إلى مادة سوداء خارج الجسم، وتسمى هذه الحالة بالبول الألكبتونى (Alcaptonuria) . فاذا أعطى شخص عنده هذا النقص حامض هيدروكسيفينيل بيروڤيك (hydroxyphenyl pyruvic) أفرز بالبول كحامض هوموچنتيزيك ، مما يدل على أن هذا الكيتون خطوة متوسطة فى تحويل الفينيل ألانين إلى حامض هوموچنتيزيك. وأما إذا أعطى الشخص فينيل حامض اللبنيك (Phenyl lactic acid) فانه لا يدعو إلى زيادة حامض الهوموچنتيزيك فى البول ، وهذا يدل على أن فينيل حامض اللبنيك ليس خطوة متوسطة فى تحويل الفينيل الأنين إلى حامض هوموچنتيزيك ويثبت ذلك أن طرد مجموعات الأمين من الحامض الأمينى هى عملية مصحوبة بأكسدة الجزء الباقى من الجزىء ، وليست عملية مصحوبة بتحليل مائى.

وتبين الرموز الآتية تحويل التيروزين إلى حامض هوموچنتيزيك عن طريق هيدوكسيفنيل بيروڤيك



(تيروزين) (حامض هيدروكسيفينيل بيروفيك) (حامض هوموجنتيزيك)

هذا وقد عملت تجارب أخرى على الأشخاص ذوى البول الألكپتونى لمعرفة فيما إذا كان طرد المجموعة ك ا٢ يسبق طرد المجموعة زيد٢ أو العكس بالعكس . فقد أعطى هؤلاء الأشخاص فينيل إيثيل الكحول (Phenyl Ethyl Alcohol) ، وقد وجد أنه لا يحول بالجسم إلى حمض هوموجنتيزيك . ولم تعمل التجارب بإعطاء فينيل إثيل أمين إذ أن هذه المادة سامة ، ولذلك استعيض عنها بالفينيل أثيل الكحول.وتثبت هذه التجارب أن الفينيل أثيل الكحول أو أمين ليستا خطوتين متوسطتين ، وأن طرد المجموعة الأمينية يسبق طرد المجموعة الكربوكسيلية .

البولينا (urea)

تكوين البولينا فى الجسم : يوجد بالدم من ١٨ إلى ٣٥ ملليجرام من البولينا فى كل ١٠٠ سم٣. وتوجد البولينا بمقادير مناظرة فى البلازما وفى الكرات الدموية وفى الأنسجة والسوائل المحيطة بها ، كل يحتوى عليها بنسبة الماء الموجود به . وليس هناك إلا استثناء واحد لهذه القاعدة ، وهو الكلى ، حيث توجد نسبة كبيرة من البولينا بها[١] (من ١٥٠ — ٢٠٠ مجم لكل مائة جرام من الكلى) .

(١) قد تكون النسبة العالية للبولينا فى الكلى مسببة من وجود بعض البول المفرز فى الأنابيب الكلوية

وربما كان لذلك علاقة بوظيفة الكلى فى صناعة الأمونيا لمحاربة حالات الحموضة (acidosis) (أنظر باب تفاعل الدم بالجزء الثانى) ولوجود البولينا منتشرة فى كثير من الحيوانات الضئيلة اعتقد كثير من العلماء أن تكوين البولينا يحدث فى كل الانسجة ، ولكن قد ظهر خطأ هذه النظرية على الاقل فى الحيوانات الراقية حيث لاتتكون البولينا إلا فى الكبد ، ويثبت ذلك مايأتى :

(١) إذا فصلت الكبد من الجسم ومرر بأوعيتها الدموية دم به أحماض أمينية أو كربونات الأمونيا تحولت بسرعة إلى بولينا . وأما إذا فصل أى عضو آخر بالجسم وعملت عليه نفس هذه التجارب فلا تتكون البولينا .

(٢) يحتوى دم الوريد الكبدى على نسبة من البولينا أكثر من تلك الموجودة فى أى وريد آخر بالجسم .

(٣) إذا وضع بعض النسيج الكبدى فى فرن درجة حرارته ٣٧ مئوية . ازدادت كمية البولينا به ، مما يدل على وجود خمائر بالكبد لعمل البولينا . أما إذا عملت نفس التجربة بأى نسيج آخر من الجسم فلا تزداد كمية البولينا التى به .

(٤) قد تمكن مان ومجاث (Mann and Maggath) من استئصال الكبد من الكلاب ومن بقاء الكلاب حية عدة ساعات بعد استئصال الكبد ، بأن منع الموت السريع الذى يحدث من قلة سكر الدم (hypoglycaemia) بوساطة حقن سكر العنب باستمرار فى الحيوان . وقد وجد أن كمية البولينا فى الدم تنقص تدريجاً بعد استئصال الكبد ، وذلك لأن البولينا تفرز بالبول ولكنها لا تتكون بالجسم الخالى من الكبد وأما إذا استؤصلت الكليتان والكبد فان كمية البولينا فى الدم تبقى ثابتة ، مما يدل على أن الكبد هو المكان الوحيد بالجسم لعمل البولينا .

(٥) فى حالات الكبد المرضية الشديدة — كحالات الضمور الأصفر الحاد (Acute yellow atrophy) — تقل كمية البولينا بالدم وتزداد كمية

الأحماض الأمينية بالدم وبالبول، مما يدل على نقص فى تكوين البولينا بالجسم .

كيمياء تكوين البولينا : إن اتحاد ثانى أكسيد الكربون والأمونيا لتكوين البولينا يكون مصحوباً بامتصاص حرارى (Endothermic reaction) وتستمد الطاقة اللازمة لهذا التفاعل من أكسدة المواد الغذائية ؛ ولذلك نرى أن تكوين البولينا يقف أو ينعدم بانعدام الأوكسيچين . وقد تكون الخطوات الكيميائية لتكوين البولينا كما يأتى :

يتكون أولا باتحاد ثانى أكسيد الكربون والأمونيا كربونات الأمونيا ، وتفقد هذه جزيئاً من الماء فتحول إلى كرباماتالأمونيا الذى يفقد جزيئاً آخر من الماء ويتحول إلى بولينا . كما يرى من المعادلات الآتية :

٢ ز يد٣ + يد٢ ا + ا = ك ⇌ ا = ك (\ ا يد ، / ا يد) ⇌ ا = ك (\ ا ز يد٤ ، / ا ز يد٤) ⇌

ا = ك (\ ا ز يد٤ ، / ز يد٢ + يد٢ ا) ⇌ ا = ك (\ ز يد٢ + يد٢ ا ، / ز يد)

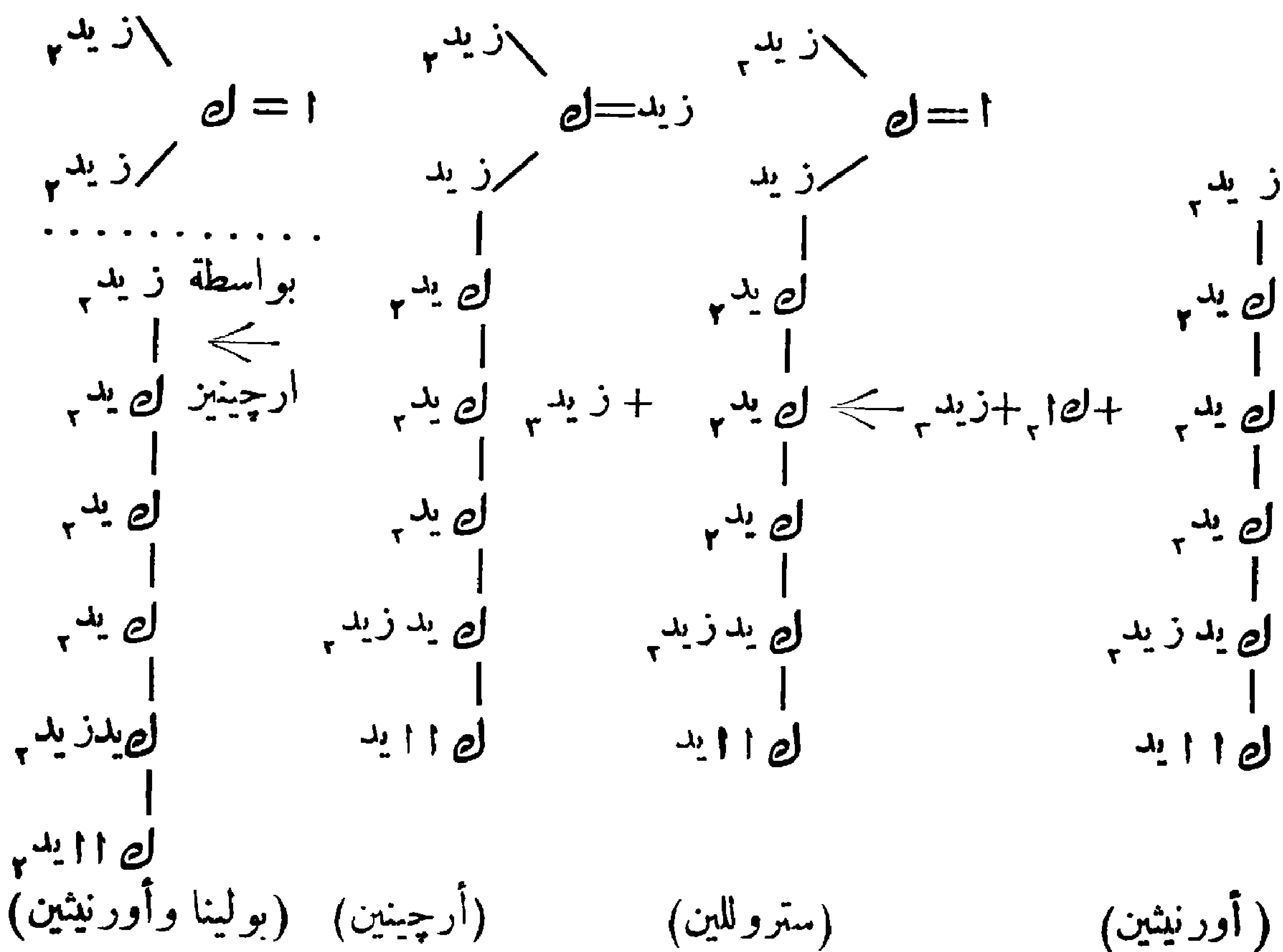
أمونيا + ماء + حامض كربونيك ⇌ كربونات الأمونيا ⇌

كربامات الأمونيا + ماء ⇌ بولينا + ماء

ويثبت هذه النظرية أنه إذا أعطى شخص كربونات أو كربامات الأمونيا أمكن الحصول عليها بنفس الكميات كبولينا بالبول ، وإذا مررت هذه المواد بكبد مفصول من الجسم فإنها تتحول إلى بولينا .

هذا وقد قدم كربز (Krebs) نظرية جديدة لتكوين البولينا بالجسم ، وهى أن الحامض الأمينى أرجينين (Arginine) يتحلل بوساطة الخميرة أرجينيز (Arginase) إلى أورنيثين (Ornithine) وبولينا . ثم يتحد الأورنيثين مع جزىء

من ثانى أكسيد الكربون وآخر من الأمونيا ويكون سترولين (Citrulline) الذى يتحد مع جزىء آخر من الأمونيا ويكون أرچينين مرة أخرى ، وهكذا تتكرر العملية ، أى أن مادة الأورنيثين تعمل كعامل مساعد يسرع تكوين البولينا بالكبد وتمثل الرموز الآتية هذه النظرية .



ويثبت هذه النظرية ما يأتى :

(١) إضافة الأورنيثين إلى النسيج الكبدى مع ثانى أكسيد الكربون والأمونيا يسرع كثيرا من قدرة الكبد على تكوين البولينا .

(٢) تحتوى كبد الثدييات على الخميرة أرچينيز (Arginase) ، ولكن كبد الطيور خالية منها . ولا يمكن لكبد الطيور أن تكون بولينا فى حين تتكون البولينا بوساطة كبد الثدييات .

الأهمية الفسيولوجية للبولينا : البولينا هى أهم المركبات الأزوتية التى

تكون فضلات التمثيل الغذائى للبروتينات فى الانسان والثدييات والأمفيبيا والأسماك، ولكنها تستبدل بالحامض البولى فى الطيور والزواحف. فلو تناول الشخص طعاماً عادياً متوسطاً (١٠٠ جرام من البروتينات يومياً) لكانت البولينا من ٨٥ — ٩٠٪ من الأزوت الكلى فى البول. ويفرز يومياً بالبول من ٢٠ — ٣٠ جراماً من البولينا، ولكن تتوقف كمية البولينا فى البول على كمية البروتينات التى يتناولها الانسان فتزداد بازدياد البروتينات فى الطعام وتقل معها. ولذلك نرى أن كمية البولينا المفرزة فى اليوم قد تقل إلى جرامين فقط وقد تزيد كثيراً عن ٣٠ جم، ولذلك تدل كمية البولينا بالبول على كمية التمثيل الغذائى لبروتين الطعام (exogenous protein metabolism) ولو أن كمية قليلة منها ناتجة من التمثيل الغذائى لبروتين الجسم (endogenous). وللبولينا خواص كثيرة تجعلها أنسب مادة فى أداء وظيفتها كأهم الفضلات الغذائية للتمثيل الغذائى البروتينى؛ فهى سهلة الذوبان فى الماء؛ وتمر بسهولة من أغشية الخلايا؛ وبها نسبة كبيرة من الأزوت ٤٤,٦٪؛ وتفاعل محاليلها متعادل. وبذلك لا يؤثر تكوينها فى درجة تفاعل الدم أو الأنسجة؛ وهى مادة غير ضارة أو سامة حتى إذا وجدت فى كثرة.

تحويل البروتينات إلى مائيات الكربون فى الجسم : يستطيع الجسم أن يحول البروتينات إلى مائيات الكربون. ويدعم ذلك البراهين الآتية :—

١ — إذا منع حيوان من الطعام اختفى الجليكوجين من الكبد؛ فاذا أعطى الحيوان طعاماً مكوناً من البروتين فقط امتلأت مخازن الكبد بالجليكوجين مرة أخرى.

٢ — وجد فى الحيوان الصائم المستأصل منه البنكرياس، أو الصائم الذى يحقن بمادة الفلوردزين (Phloridzine) أن نسبة سكر العنب إلى الأزوت فى البول ($\frac{D}{N}$ratio) ثابتة، مما يدل على أن كلا من الجلوكوز والأزوت يأتيان

من مصدر واحد، أى من بروتينات الجسم، إذ أن هذه هى المادة الوحيدة التى بها الأزوت، وقد وجد لسك (Lusk) أن هذه النسبة تساوى ٣,٦٥٪، أى أن كل جرام من الأزوت فى البول يعادل ٣,٦٥ من الجرام من الجلوكوز أى أن كل ٦,٢٥٪ من الجرام من البروتين يمثل بالجسم يعطى ٣,٦٥ من الجرام من الجلوكوز، أى أن ٥٨٪ من جزىء البروتين يمكن تحويله بالجسم إلى جلوكوز[١].

وباجراء التجارب على هذه النسبة فى الحيوان الصائم المحقون بالفلوردزين وجد أنه ليس لكل الأحماض الأمينية نفس القدرة على التحويل إلى جلوكوز، فبعضها يمكن تحويل كل ماتحويه من ذرات الكربون إلى جلوكوز، فى حين يتحول فى بعضها الآخر جزء فقط من الذرات الكربونية التى به. هذا ويوجد أحماض أمينية لاتعطى جلوكوزاً بالجسم بتاتاً. فمثلا إذا أعطيت هذه الأخيرة للحيوان ازدادت كمية الأزوت فى البول، ولكن لا تزداد كمية السكر التى تفرز، وعليه قلت نسبة الجلوكوز إلى الأزوت عنها فى حالة الصيام. أما الأحماض الأمينية التى يمكن تحويلها كلياً أو جزئياً إلى الجلوكوز فهى جلسين وألانين وحامض اسبارتيك وحامض جلوتاميك وحامض هيدروكسى جلوتاميك وسيرين وأرجنين وپرولين. وأما الأحماض الأمينية فنيل الأنين ونيروزين وليوسين فتعطى بالجسم أجساماً خلونية وأما تربتوفين وهستيدين فلا يعطيان سكراً أو أجساماً خلونية، ويحدث تحويل الأحماض الأمينية إلى السكر فى الكبد؛ ويثبت ذلك أنه إذا حقن الحامض الأمينى جليسين فى حيوان استؤصلت منه الكبد لايؤدى ذلك إلى ضياع أعراض نقص سكر الدم الموجودة، مع أن هذا الحامض يتحول إلى سكر فى الحيوان الذى به الكبد. ولتحويل الأحماض الأمينية إلى سكر بالجسم أهمية عظيمة، إذ يجرى

(١) أنظر أيضا جلوكوزوريا الفلوردزين (ص ٢٣٦).

ذلك — كما ذكرنا آنفا — فى حالات الصيام ؛ وبذا تحفظ نسبة سكر الدم . ويزيد من هذا التحويل الهرمون المسبب للبول السكرى الذى يفرز بالفص الأمامى للغـدة النخامية (Diabetogenic hormone) ويقلل هذا التحويل الأنسولين ، وهو الهرمن الذى يفرزه البنكرياس .

تحويل البروتين إلى دهن بالجسم : يمكن للجسم أن يحول البروتين إلى مواد دهنية . ويبرهن على ذلك ما يأتى :

١ — هناك أدلة كثيرة على أنه يمكن للجسم أن يحول البروتين إلى مائيات الـكربون ، كما توجد أدلة أخرى كثيرة على تحويل مائيات الـكربون إلى الدهون بالجسم . وعليه يستنتج منطقياً أن للجسم المقدرة على تحويل البروتين إلى دهنيات على الأقل عن طريق مائيات الـكربون .

٢ — أطعم كريمر (Cremer) قططا طعاماً مكوناً من البروتين فقط ، فوجد أن هذه الحيوانات حجزت بأجسامها كميات من الـكربون أكثر بمراحل مما يمكن أن يكون قد أبقى فى الجسم على هيئة بروتينات أو مائيات الـكربون . وعليه لزم أن يكون بعض ذلك الـكربون خزن بالجسم على هيئة مواد دهنية .

٣ — قام لسك (Lusk) بتجارب على الـكلاب مشابهة لتجارب كريمر (Cremer) ووجد أن للجسم المقدرة على تحويل البروتين إلى دهن ، وخصوصا فى حالة ما إذا كانت مخازن الجليكوچين ملأى به .

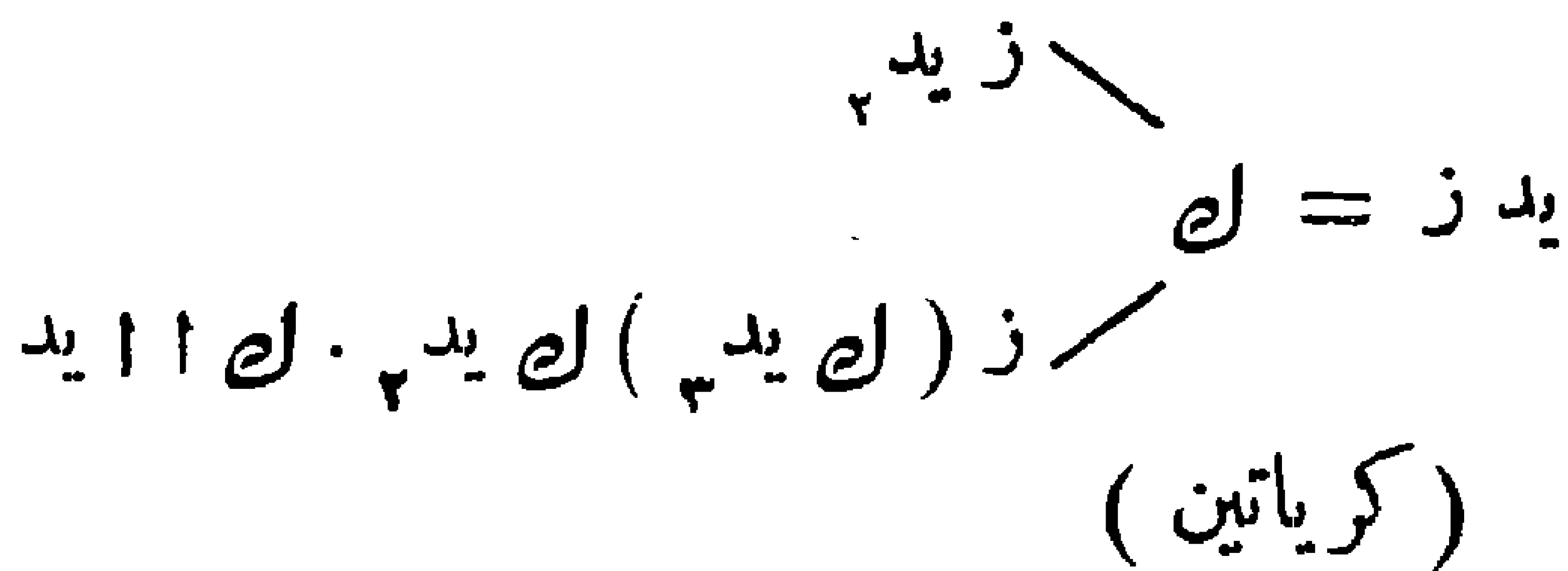
٤ — إذا ربيت ديدان ذباب الـكالليفورا (Calliphora) على اللحم حللته تحليلا مائيا ، وطردت مجموعات الأمين من الأحماض الأمينية ، وحولت ما تبقى من الجزىء إلى أحماض دهنية .

الباب السادس عشر

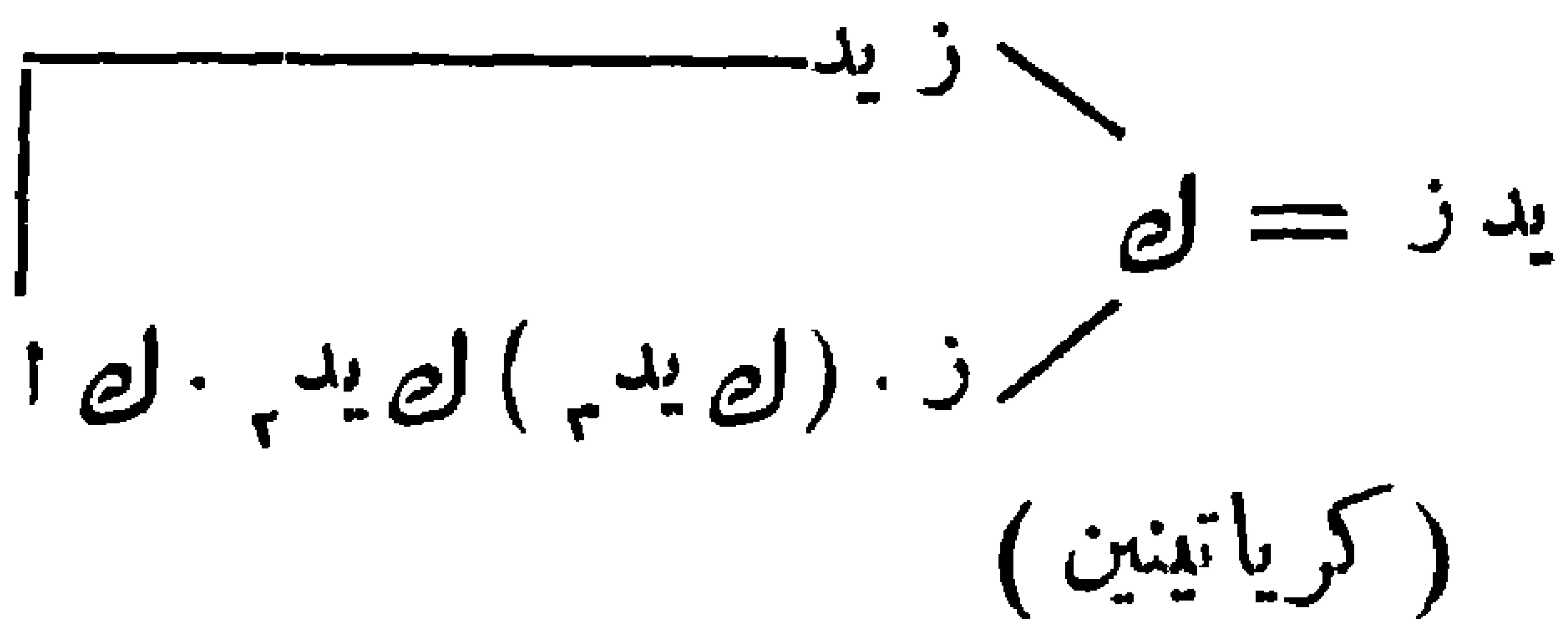
التمثيل الغذائى للكرياتين

(Creatine Metabolism)

الكرياتين هو ميثيل جوانيدين حامض الخليك (methyl guanidine acetic acid) ؛ وإذا فقد منه جزىء من الماء صار كرياتينين (creatinine) ويبين الرمزان الآتيان هذه العلاقة :



(كرياتين)



(كرياتينين)

وقد تقدمت المعلومات فى التمثيل الغذائى للكرياتين بالجسم عند ما اكتشف فولين (Folin) طريقة لتقديره ؛ وأساسها أن الكرياتينين مع حامض البكريك وأيدروكسيد الصوديوم يعطى بكرات الكرياتينين ذا اللون البرتقالى الأحمر الذى يمكن تقديره بوساطة مقياس الألوان (colorineter). وإذا أضيف إلى حامض الكلوردريك رسب بكرات الكرياتينين وأمكن تقديره بالوزن ويحول الكرياتين الى الكرياتينين قبل تقديره، ويجرى هذا التحويل بوساطة الأحماض.

وجود الكرياتين بالجسم: يحتوى جسم الانسان على ١٢٠ جراما من الكرياتين تقريبا ؛ ٩٨ ٪ منها موجود فى العضلات و ١,٥ ٪ فى المخ والنخاع الشوكى، والباقى موزع على بقية أنسجة الجسم، ويحتوى الدم على ٣,٥ — ٥ مليجرامات كرياتين بكل مائة سنتيمتر مكعب، معظمه موجود فى الكرات الدموية، ويحتوى أيضا على مليجرامين تقريباً من الكرياتينين موزعين بالتساوى بين البلازما والكرات.

منبع الكرياتين للجسم:

أولا: يوجد الكرياتين فى الطعام . فمثلا فى اللحوم، وإذا أعطى شخص كميات قليلة من الكرياتين حفظت بالجسم ؛ وأما إذا أعطيت كميات كثيرة جدا فان العضلات تأخذ منها ما يشبعها ثم يفرز الباقى بالبول إما على شكل الكرياتين وإما على شكل الكرياتينين.

ثانيا: فضلا عما يؤخذ من الكرياتين فى الغذاء يمكن الجسم أن يصنع الكرياتين من بعض الأحماض الأمينية، ولتركيبه الكيميائى علاقة بجليسين وأرجنين ومثيل جوانيدين وكولين وقد تدخل هذه فى تركيبه.

ويثبت أن الكرياتين يتكون بالجسم من بعض الأحماض الأمينية ما يأتى:

(١) أمكن زيادة الكرياتين فى البول باعطاء أرجينين للخنازير.

(ب) يدعو إعطاء جليسين إلى تحسن كبير فى أحوال مرضية للعضلات مصحوبة بضمورها كمرض الضعف العضلى الشديد (myasthenia graves). ويعتقد أن المرض ينتج من نقص فى التمثيل الغذائى للكرياتين. ويؤدى إعطاء الجليسين إلى زيادة كبيرة فى كمية الكرياتين بالعضلات والبول ؛ ويدعو إعطاء أرجينين وميثيل جوانيدين إلى بعض التحسين ولكنه أقل من التحسين الذى يصحب إعطاء الجليسين، وقد أعطى الحامض الأمينى هستيدين

وبعض الأحماض الأمينية الأخرى ولكن كانت بلا فائدة .

نستخلص من ذلك أنه يمكن تكوين الكرياتين فى الجسم من الأحماض الأمينية جليسين وأرجنين . وقد يكون هناك أحماض أخرى يتكون منها لم تعرف بعد .

أين يصنع الكرياتين بالجسم ؟ قد يظن لأول وهلة أن الكرياتين يصنع بالعضلات ، من حيث إنها تحتوى على أكبر كمية منه ، ولكن يدعى هاردنج وكاميرون (Harding & Cameron) أنه يصنع خارج العضلات ثم تأخذه العضلات من الدم حتى تتشبع به ، وما بقى بعد ذلك يفرز بالبول وكلما زادت كمية النسيج العضلى بالجسم اختفى الكرياتين من البول وبقى الكرياتينين فقط والعكس بالعكس ، وإثباتاً لذلك يقدمان حالات أشخاص بترت سيقانهم وبذلك قلت كمية العضلات الموجودة بالجسم . ففى هذه الحالات زادت كمية الكرياتين فى البول فى حين قلت كمية الكرياتينين . وبهذه النظرية أيضاً يفسران الفرق بين بول الرجل والمرأة والطفل ، إذ أن الأول لايحتوى على كرياتين ولكن به كرياتينين فقط . فى حين أنه يوجد فى بول المرأة والطفل كل من الكرياتينين والكرياتين ، لأن كمية النسيج العضلى فى الرجل أكثر منها فى المرأة أو الطفل ، وهكذا نرى أن مكان صناعة الكرياتين فى الجسم غير معروف للآن . ولكنه فى الغالب ليس فى العضلات .

أين يصنع الكرياتينين ؟ يصنع الكرياتينين فى الغالب من الكرياتين بالعضلات ، وذلك لأنه فى الحالات السابقة — حالة ذوى السيقان المبتورة — تقل كمية الكرياتينين فى البول فى حين تزيد كمية الكرياتين ، وكذلك إذا وضع بعض النسيج العضلى فى فرن درجة حرارته ٣٧ مئوية (incubated) ازدادت كمية الكرياتينين به عند درجة تركيز إيدروچينى معينة .

وظيفة الكرياتين : يوجد حوالى ٩٨٪ من كرياتين الجسم بالعضلات ، وكلما زادت سرعة العضلة وقوتها وعملها زادت نسبة الكرياتين بها. وكذلك تزاد كمية الكرياتين بالعضلات فى الطفل بعد الولادة مع زيادة مقدرته على تحريكها ، كما أن كمية الكرياتين بالرحم تزداد مع الحمل . وهكذا دلت هذه الحقائق على أن للكرياتين وظيفة مهمة فى عمل العضلات وأما هذه الوظيفة فلم تعرف تماما حتى سنة ١٩٣٠ ، حيث وجد أنه يمكن للعضلات أن تنقبض بدون أن يتغير الجليكوچين بها إلى حامض اللبنيك . إذا ما سممت بأيودو خلات الصوديوم (Soduim iodoacetate) ، وأن انقباض هذه العضلات مصحوب بظهور كميات كبيرة من الكرياتين المطلق بها .

يوجد معظم الكرياتين بالعضلات متحدا مع حامض الفوسفوريك مكونا فوسفات الكرياتين أو فوسفاچين (Phosphagen) . ويتحلل الفوسفاچين مائيا عند انقباض العضلات إلى كرياتين وفوسفات ، وينتج عن هذا التحلل طاقة وحرارة (exothermic) ، ويمكن حدوثه بدون وجود الأوكسيچين أى أن هذا التحليل لا هوائى (anaerobic) ، وهكذا نرى أنه تفاعل لا هوائى يكون مصدرا للطاقة بالعضلات . ويدعى بعضهم أن العضلات تحصل على الطاقة اللازمة لانقباضها من التحليل المائى للفوسفاچين . وإذا سممت العضلات بأيود وخلات الصوديوم كانت كمية الفوسفاچين المحللة معادلة لكمية العمل الذى تقوم به العضلات ، فاذا ما استنفد كل فوسفاچين العضلة حصل بها تيبس أى انقباض مستمر (rigor) .

ويتحد الكرياتين مع الفوسفات ليكون فوسفاچين ثانية بعد الانقباض ويمكن لذلك أن يحدث جزئيا بدون الأوكسيچين أو الدورة الدموية ، ولكن يجب وجود الاوكسيچين إذا أردنا أن يتحول كل الكرياتين والفوسفات المتكونين وقت الانقباض إلى فوسفاچين ثانية ، وتحصل العضلات على الطاقة اللازمة لتحويل الكرياتين والفوسفات إلى فوسفاچين

فى حالة غياب الاوكسيچين من تلك الناشئة من تحويل الچليكوچين إلى حامض اللبنيك ، وأما فى حالة وجود الاوكسچين فتحصل العضلات على الطاقة اللازمة من أكسدة حامض اللبنيك أو أى مواد غذائية أخرى موجودة إلى ثانى أكسيد كربون وماء .

ولو أنه ليس معروفاً تماما إن كان التحليل المائى للفوسفاچين هو السبب فى انقباض العضلات أو فى ارتخائها (أنظر باب العضلات الجزء الثالث) إلا أنه من المؤكد أن وجود الكرياتين بالعضلات أساسى لعملها . ويدعم ذلك ماوجد أخيرا فى حالات ضعف العضلات المرضية إذ أن كمية الكرياتين بها أقل كثيرا من الكمية العادية .

هذا وهناك فائدة أخرى إذ أن انطلاق الكرياتين وقت انقباض العضلات يزيد من مقدرتها على تعادل الأحماض الناشئة وقت الانقباض ، لان الكرياتين قاعدة قوية .

إخراج الكرياتين والكرياتينين بالبول

لا يوجد ببول الرجل العادى إلا الكرياتينين فقط ، ويوجد كل من الكرياتين والكرياتينين ببول المرأة والطفل . وقد قارن فولين (Folin) بين كمية الكرياتينين بالبول عند تناول طعـــام به كميـات كبيرة من البروتين وكميات قليلة منه ، فوجد أن كمية الكرياتينين التى تفرز بالبول لا تمت بصلة لكمية البروتين التى تؤخذ بالطعام ، فلا تزداد ولا تنقص معها — بخلاف البولينا . وعلى ذلك استنتج فولين أن كميـة الكرياتينين بالبول لا يمكن أن تؤخذ مقياسا لكمية البروتين المأخوذ بالطعام والمستعمل بالجسم (exogenous protein metabolism) ؛ إذ أن مقياس ذلك كمية البولينا . وأما كمية الكرياتينين فهى ثابتة ؛ ويمكن أن تؤخذ مقياسا للنشاط النسيجى أو لتمثيل البروتين الداخلى للخلايا نفسها (endogenous protein

(metabolism. ويفرز ببول الرجل من ١,٥ — ٢ جرام كرياتينين يوميا ، وببول المرأة من ٠,٨ — ١,٥ جرام يوميا . ومعامل الكرياتينين (creatinine coefficient) هي كمية الكرياتينين المقدرة بالملليجرامات التى تفرز يوميا من كل كيلوجرام من وزن الجسم ، وهي نحو ٢٥ فى الرجل و ١٦ فى المرأة و ٩ فى الطفل ، وهي ثابتة لا تتغير ، وتناسب كمية العضلات الموجودة بالجسم . وبذلك نرى أنه قد يكون لامرأة ذات عضلات متمرنة معامل كرياتينين أكبر منه فى رجل سمين قليل الحركة .

وتزداد كمية الكرياتينين التى تفرز بالبول وقت المجهود الرياضى ، ولكنها تقل بعد ذلك وبذلك تبقى الكمية اليومية ثابتة .

ويظهر الكرياتين فى بول الرجل فى الأحوال المرضية التى تدعو إلى هزال العضلات، كالحميات والجواتر الجحوظى والصيام المستمر والبول السكرى والاورام الخبيثة وغيرها .

الفصل السابع عشر

التمثيل الغذائى للكبريت

(Sulphur metabolism)

يمكن تقسيم مركبات الكبريت التى توجد بالطعـــــام والجسم قسمين رئيسيين : مركبات غير عضوية ، وأخرى عضوية .

المركبات الغير العضوية : وتنقسم الى :

١ — الكبريتات (inorganic sulphates) : وهى أملاح حامض الكبريتيك مع الفلزات القاعدية ، الصوديوم والبوتاسيوم وغيرهما . وإذا أخذت كبريتات الصوديوم أو البوتاسيوم بالطعام امتصت كما هى ، فتعطى كميات متساوية من الأيونات القاعدية والحامضية للدم . وأما إذا أخذت كبريتات الأمونيا فانها تزيد الحموضة فى الدم ، وذلك لأن الأمونيا تتحول بسرعة إلى بولينا بالجسم ، فى حين تقلل أيونات الكبريتات احتياطى القواعد بالدم (Alkali resrve)) ، ولا تمتص كبريتات المغنسيوم إلا بصعوبة ، ولذلك تدعو إلا الاسهال .

ويحتوى الدم على ١ر. إلى ١ ملليجرام من الكبريتات الغير العضوية بكل مائة سنتيمتر مكعب . وتوجد كميات مقابلة لهذه فى كل سوائل الجسم والأنسجة . وتتكون الكبريتات الغير العضوية فى الجسم من أكسدة الكبريت الموجود ببعض الأحماض الأمينية وتعتبر الكبريتات الغير العضوية فضلات موجودة بالدم فى طريقها لتفرز بالبول بوســـاطة الكلى ولا يمكن الجسم أن يستعملها لصناعة الأحماض الأمينيـــة المحتوية على الكبريت ؛

ولكن لها فائدة واحدة إذ باتحادها مع الفينول فى الكبد تقلل من ضرر الفينول (Detoxication)

ب — كبريتيدات (Sulphides) : تمتص الكبريتيدات من الأمعاء الغليظة أو من الرئتين . وتتكون الكبريتيدات فى الأمعاء الغليظة بوساطة فعل البكتريا فى الكبريت الموجود فى الاحماض الأمينية . وإذا وجد كبريت الايدروچين فى الهواء بنسبة ١ : ١٠٠٠ كان ساما وشل حركات التنفس وسبب الموت . وتتأكسد الكبريتدات بالجسم بسرعة إلى كبريتات .

حـ — كبريتوسيانات (Thiocyanates) : وتوجد بكميات قليلة فى اللعاب وفى البول وهى تتكون باتحاد السيونورات بالكبريت — وبذلك يقل ضررها بالجسم .

مركبات الكبريت العضوية : يمكن تقسم المركبات العضوية الكبريتية قسمين : المركبات الغير البروتيينة والمركبات البروتينية

١ — المركبات الغير البروتينية (Non-protein Sulphur) يحتوى هذا القسم على :

(ا) الكبريتات الايثيرية (Ethereal Sulphates) : توجد بنسبة ١,٠—١ مجم فى كل مائة سم٣ من الدم ؛ وهى تتكون باتحاد حامض الكبريتيك مع الفينول أو مشتقاته . ويتكون الفينول من فينيل الألنين وتيروزين فى الأمعاء الغليظة بوساطة البكتريا (ص ١١٠) ، كما يتكون اندول وسكاتول من تربتوفين . والفينول ومشتقاته مواد سامة ؛ وباتحادها مع حامض الكبريتيك يقل ضررها فى الجسم ، ويحدث الاتحاد فى الكبد ويقل فى حالات إصابة الكبد المرضية .

ب — سلفوليبيد (Sulpholipide) : وهى مواد دهنية بها كبريت وتوجد فى النسيج العصبى .

حـ – ارجوثيونين (Ergothionine) : وهو مركب كبريتى موجود بكرات الدم الحمراء .

٢ – المركبات البروتينية (Protin Sulphur) : ويحتوى هـــــذا القسم على :

ا – سستين (Cystine) ومشتقاته : يوجد السستين بكميات مختلفة فى جزىء البروتين وفى كل الأنسجة الحية بالجسم ، وهو أحد الأحماض الأمينية الأساسية التى لا يمكن أن تتكون فى الجسم من غيرها ، والتى يجب أن توجد بالطعـام ، فهى لازمة للنمو ولحفظ الجسم فى توازن أزوتى ، والسستين ومشتقاته فى غاية الأهميـة ، فهى تسرع تفاعلات الأكسدة والاختزال بالجسم وقد اكتشف هوپكنز (Hopkins) مركب الجلوتاثيون (glutathione) . وهو مكون من ثلاثة أحماض أمينيــــــة : سستايين (Cysteine) ، وحامض جلوتاميك (glutamic) ، وجليسين (glycine) وهو موجود فى كل الأنسجة العـاملة وفى الدم ، ويساعد الأكسدة كثيراً بوساطة مجموعة (كب — يد) الموجودة به (أنظر باب التنفس النسيجى ، الجزء الثانى) .

وربما كان السستين الموجود بجزىء الأنسولين هو السبب فى مقـدرة الأنسولين على تنبيه أكسدة مائيات الكربون بالأنسجة .

ب — مثيونين (methionine) : وهو حمض أمينى آخر يحتوى على الكبريت ، وربما كان مهماً أيضاً فى عمليات الأكسدة .

حـ — تورين (Taurine) : أو أمينو إيثيل حامض الكبريتيك ؛ ويوجد فى الصفراء متحداً مع حامض الكوليك ومكونا حامض توروكوليك ، ويتكون التورين فى الجسم من السستين ولكن لا يمكن للجسم تحويل التورين إلى سستين ثانية . وإذا حقن التورين فى الجسم أفرز بعضه متحداً مع حامض الكوليك بالصفراء ، وظهر بعضه مطلقاً فى البول .

ى — جلوكوبروتين (Glucoproteins) : وتحتوى على :

١ — ميوكويتين (mucoitin) : ويوجد فى الرطوبة الزجاجيـــة للعين (vitreous humour) وفى القرنية ، وفى الافرازات المخاطية للقناة الهضمية .

٢ — كوندرويتين حامض الـكبريتيك (chondroitin sulphuric acid) . ويوجد فى الغضاريف وفى طنب (tenden) العضلات ، وجدران الشرايين ، وفى الطبقة الصلبة للعين (Sclera) ، وبالشعر والأظافر .

٣ — الميلانين (melanines) : وهى مواد ملونة (Pigments) تحتوى على الـكبريت ونتائج أكسدة الأحماض الأمينية العطرية (Aromatic Amino acids) . وتوجد فى أجزاء الجسم الملونة .

افراز الكبريت من الجسم : يفقد الجسم الـكبريت بالشعر والأظافر ، وفى إفرازات الصفراء واللعاب والقناة الهضمية ؛ ولـكن معظم الـكبريت يفرز بالبول وتقسم مركبـات الـكبريت البولية ثلاثة أقسام :

أولا : الـكبريتات الغير العضوية (inorganic sulphates) وهى كبريتات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والأمونيا .

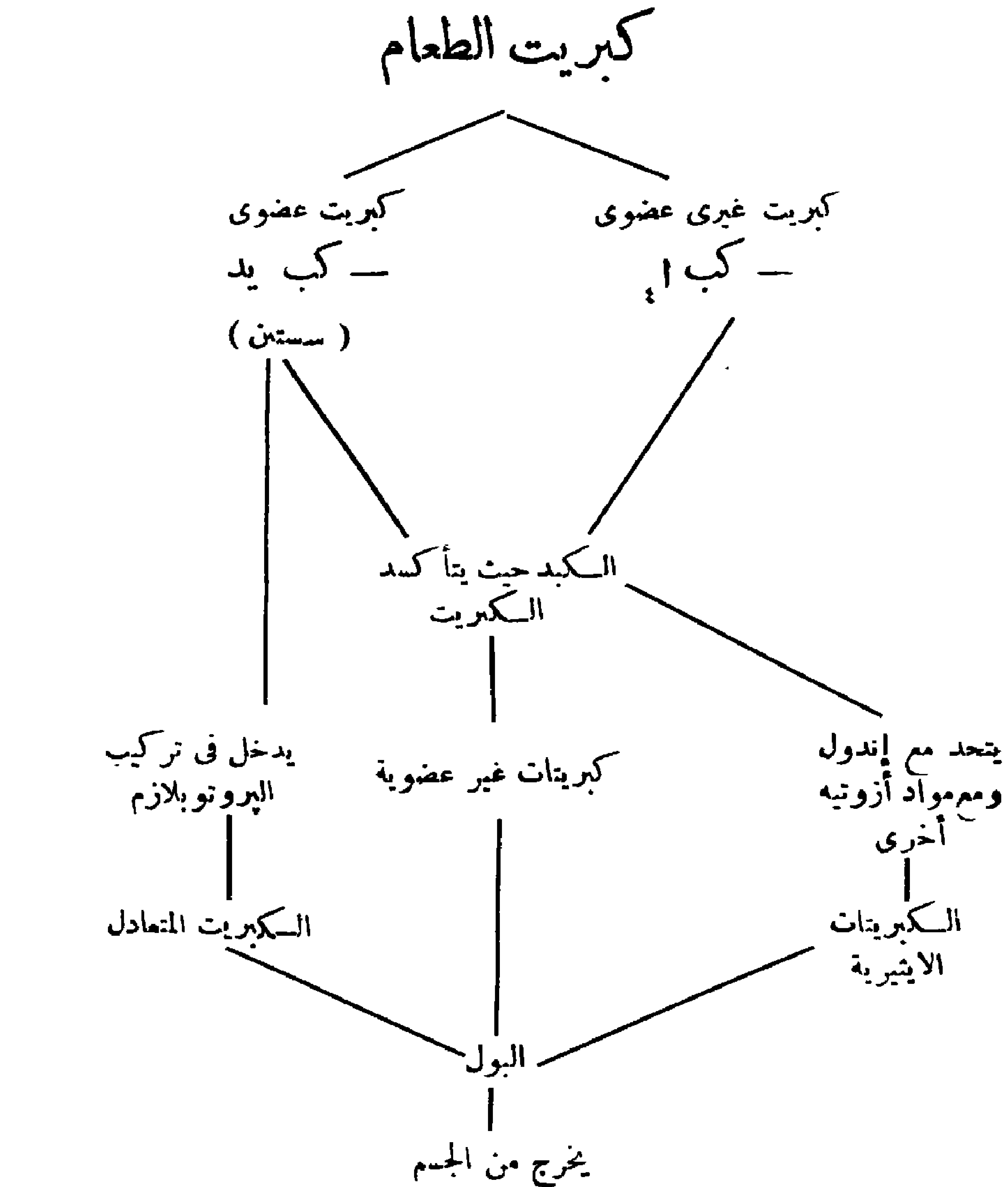
ثانيا : الـكبريتات الإيثرية (ethereal sulphates) — وهى الانديكان أى أندوكسيل كبريتات البوتاسيوم .

ثالثا : الـكبريت المتعـادل (neutral sulpher) ومنها سستين وتورين وأحماض الصفراء وثيوسلفات ويوروكروم .

وإذا كان الشخص يتناول طعاما عاديا به ١٠٠ جم بروتين فى اليوم كانت الـكبريتات الغير العضوية بنسبة ٨٨٪ من الـكبريت الكلى فى البول ، وكانت الـكبريتات الايثرية بنسبة ٧٪ ، والـكبريت المتعادل بنسبة ٥٪ . وتزداد كمية الـكبريتات الغير العضوية بالبول مع زيادة البروتين بالطعام ، وتقل معه — ولذلك هى كالبولينا تؤخذ مقياسا لـكمية التمثيل الغذائى الخارجى للبروتين (exogenous protein metabolism) وأما الـكبريت المتعادل فهو ثابت

ولا يتأثر بكمية البروتين فى الطعام . فمثلا قد وجد أن اليوروكروم يفرز بكمية مناسبة للتمثيل الغذائى القاعدى للشخص ، وعليه فان الكبريت المتعادل مالبول مقياس — كالكرياتينين — للنشاط النسيجى نفسه ، أى للتمثيل الغذائى الداخلى للبروتين (endogenous protein motabolism) .

وتزداد كمية الكبريتات الإيثيرية مع زيادة التعفن بالامعاء الغليظة ، ويمكن اعتبارها مقياسا لذلك . ويبين الرسم التخطيطى الآتى مصادر كبريت البول



(عن موريس)
بتحريف

الباب الثامن عشر

التمثيل الغذائى للبروتين النووى

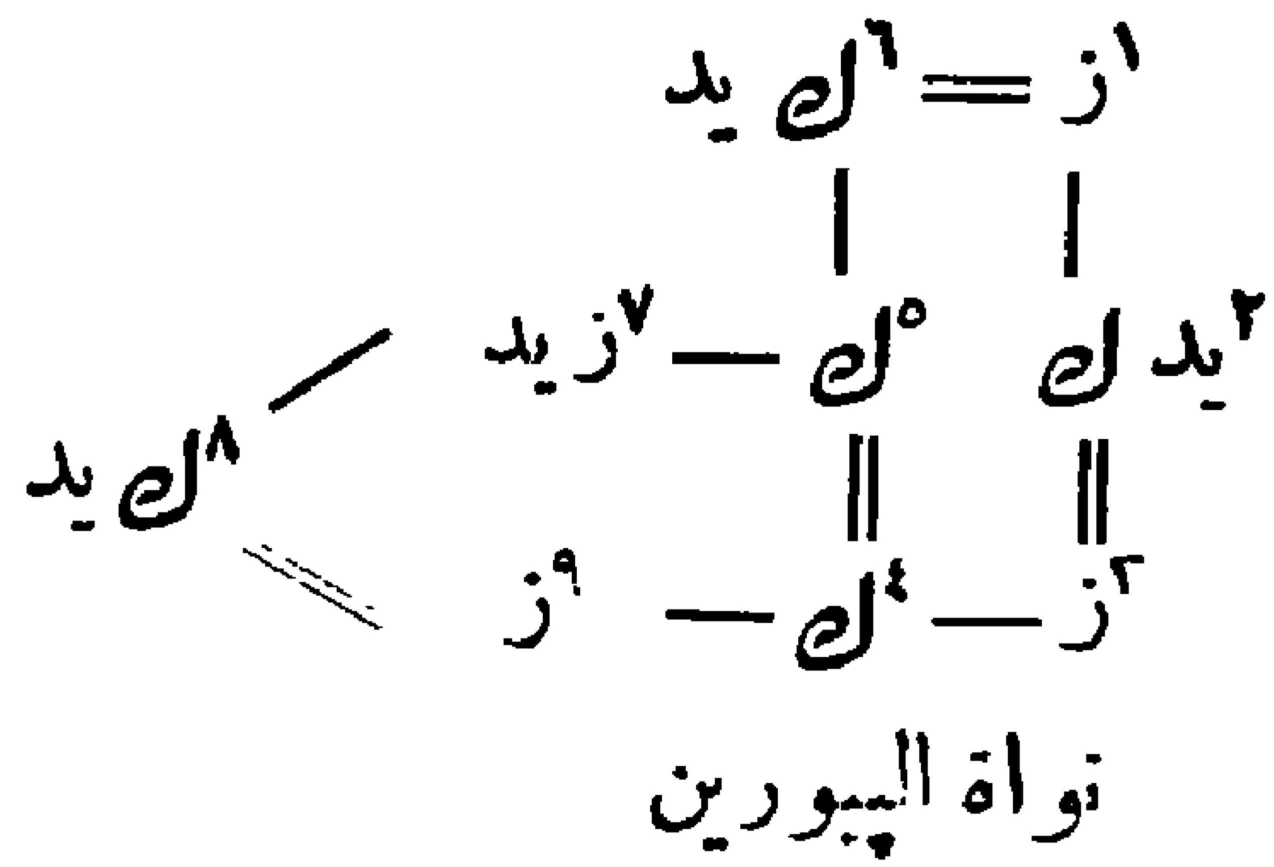
(Nucleoprotein Metabolism)

البروتين النووى عبارة عن ملح عضوى مركب من اتحاد بروتين قاعدى ، مثل بروتامين أو هيستون (ص ٤٧) ، مع الحامض النووى . ويختلف البروتين الذى يدخل فى تركيب البروتين النووى من نسيج إلى آخر ؛ ولكن هناك نوعان فقط من الحامض النووى : أحدهما يوجد فى نوايا الخلايا الحيوانية والآخر فى نوايا الخلايا النباتية . وغالبا ما يطلق على الحامض النووى الحيوانى لفظ الحامض النووى الثيموسى (Thymus nucleic acid) وعلى النباتى الحامض النووى الخميرى (Yeast nucleic acid) ؛ وذلك لأن غدة الثيموس والخميرة هما أحسن مصدرين للحصول على الحامض النووى الحيوانى والنباتى على الترتيب .

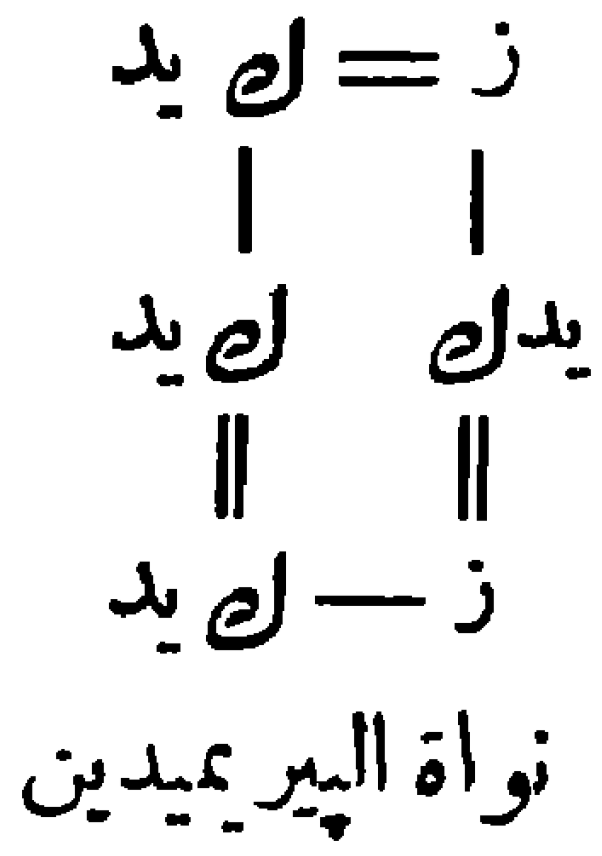
ويتركب الحامض النووى من أربع نيوكليوتيدات (Nucleotides) متحدة مع بعضها ؛ ويحتوى كل منها على حامض فوسفوريك ومائى الكربون بنتوز وقاعدة . وتكون القاعدة فى اثنتين من النيوكليوتيدات من فصيلة البيورين (Purine base) وفى الاثنتين الآخرين من فصيلة البيريميدين (Pyrimidine base) ويختلف الحامض النووى الحيوانى عن النباتى فيما يأتى :

أولا : البنتوز الموجود فى الحامض النباتى هو ريبوز (Ribose) ، فى حين أن ذلك الموجود فى الحامض الحيوانى هو ثيمينوز (Thyminose) .

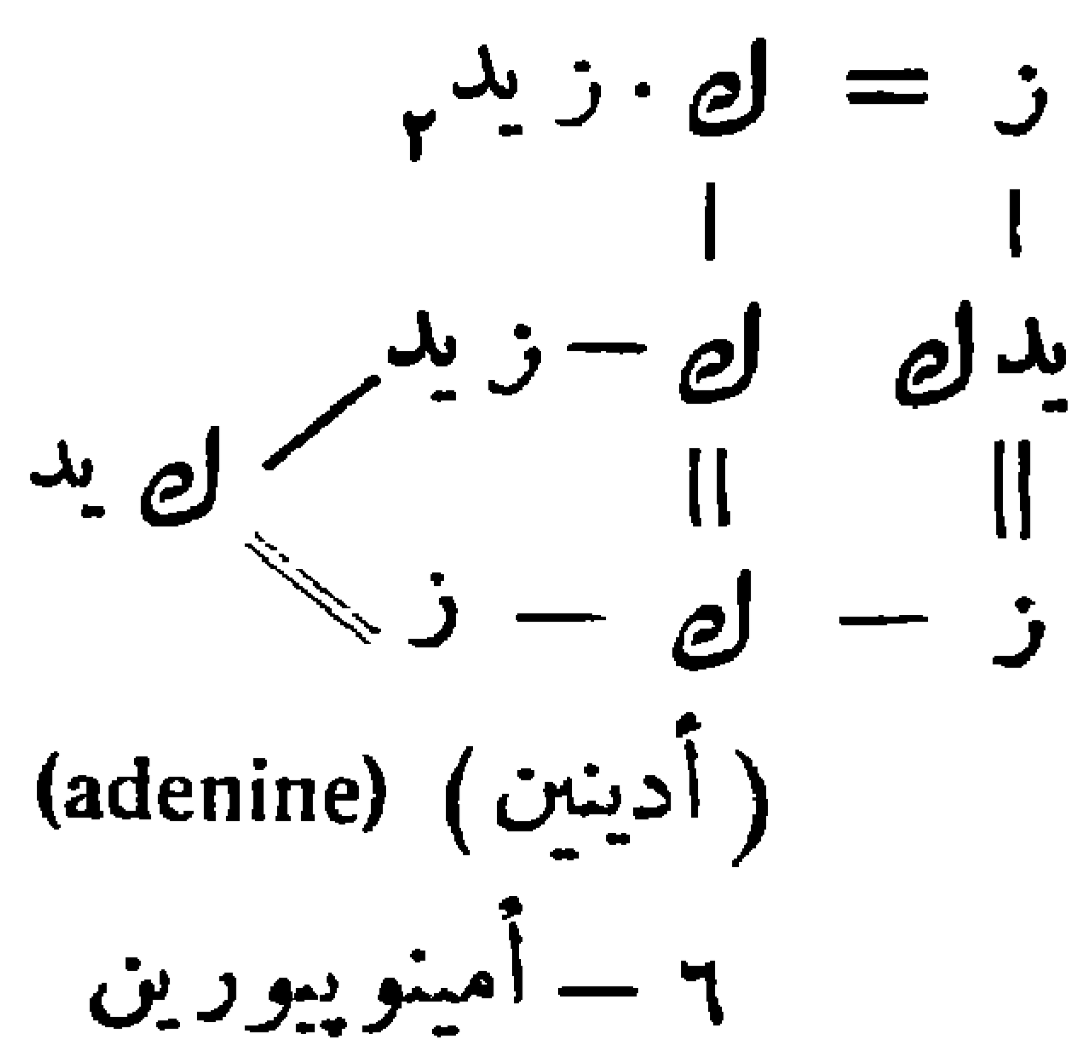
ثانياً : القاعدتان من فصيلة البيريميدين فى الحامض النباتى هما يوراسيل (uracil) وسيتوزين (Cytosine) ؛ ولكن فى الحامض الحيوانى هما يوراسيل وثيمين (Thymine) . وأما القاعدتان البيورينيتان فهما متماثلتان فى الحالتين وهما أدينين (Adenine) وجوانين (Guanine) . وتبين الرموز التى فى صفحة ٢١٢ تركيب هذه القواعد وطريق أكسدتها إلى الحامض البولى والانتوين



نواة البيورين

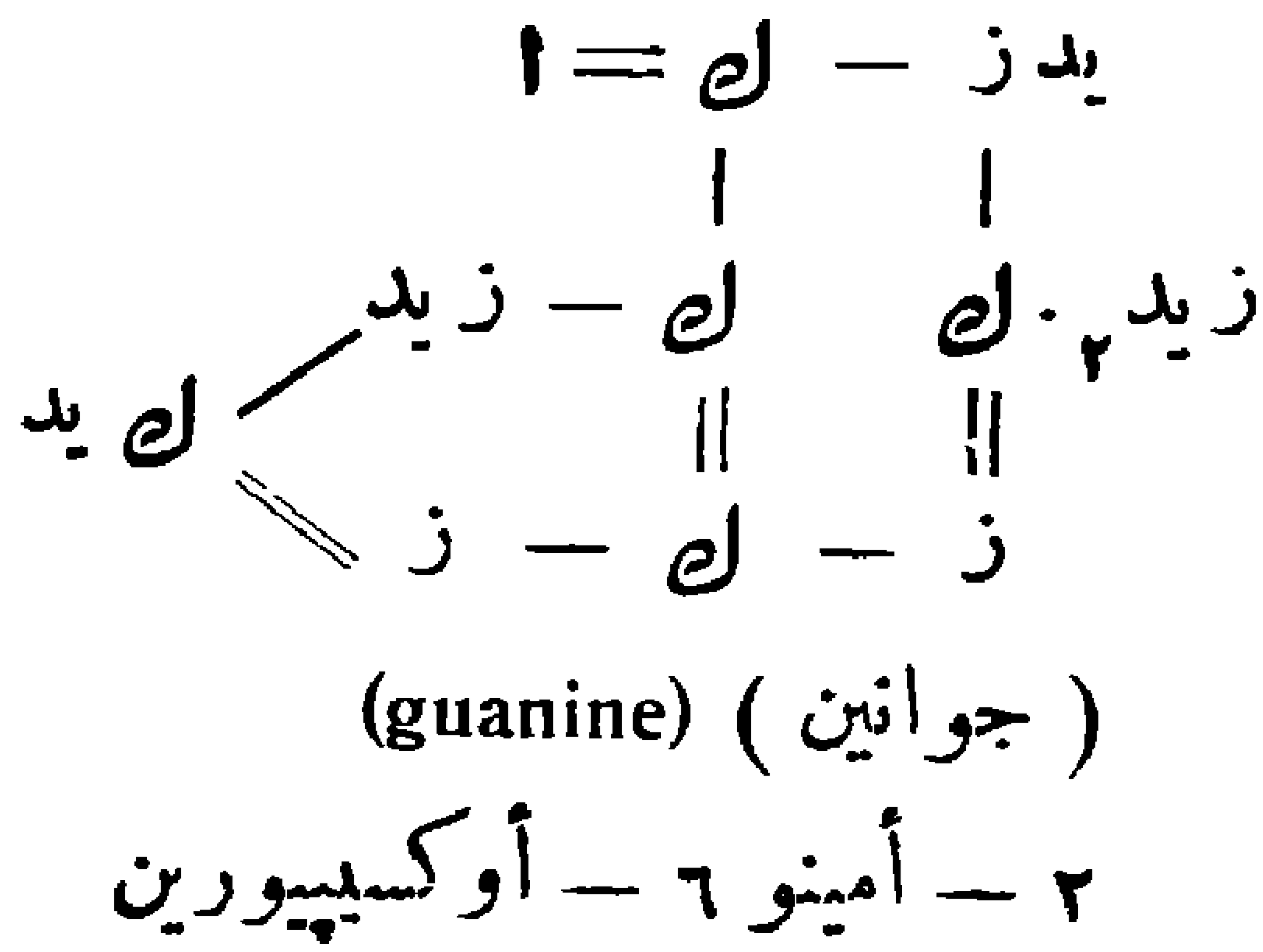


نواة البيريميدين



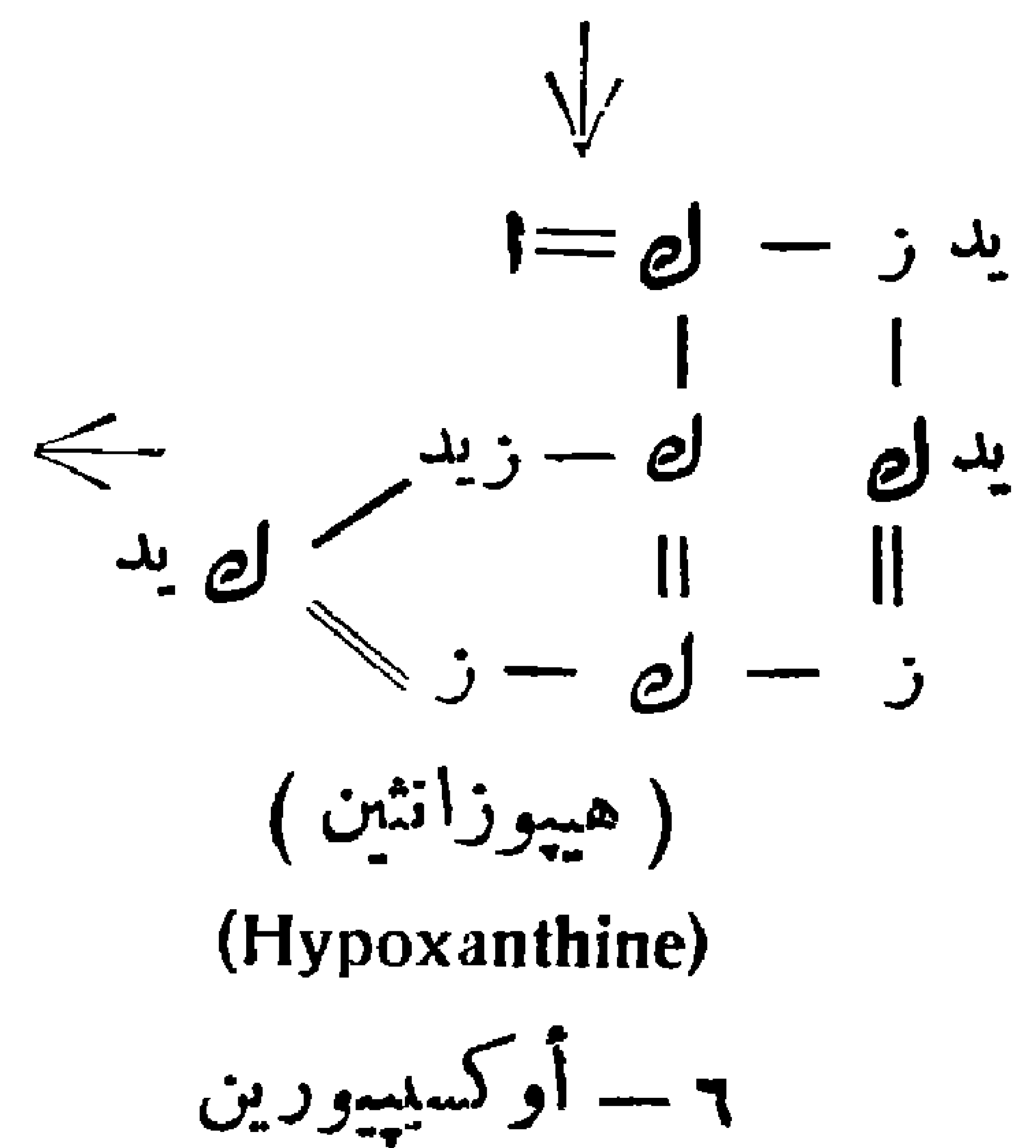
(أدينين) (adenine)

٦ — أمينو بيورين



(جوانين) (guanine)

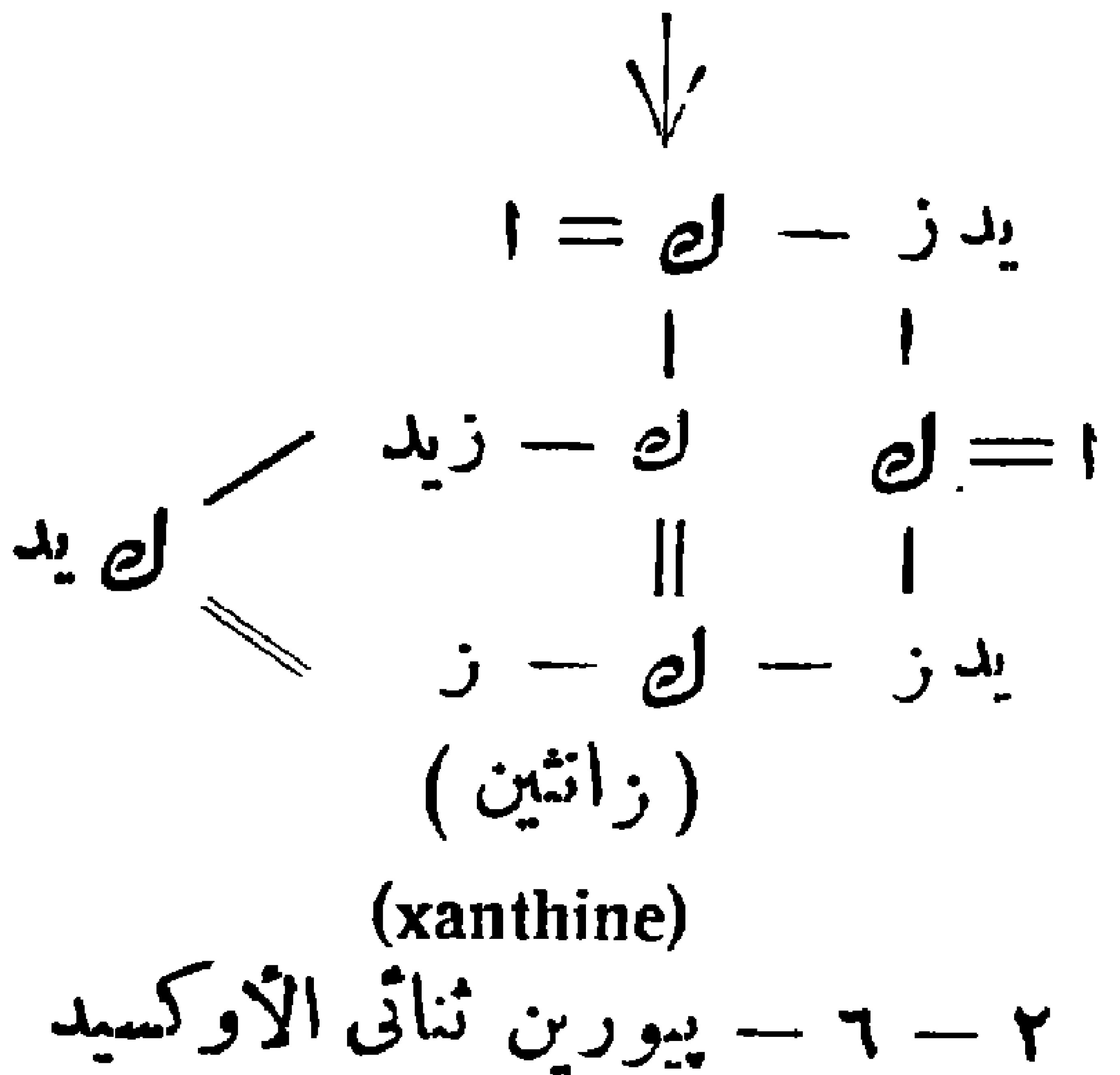
٢ — أمينو ٦ — أوكسيپيورين



(هيپوزانثين)

(Hypoxanthine)

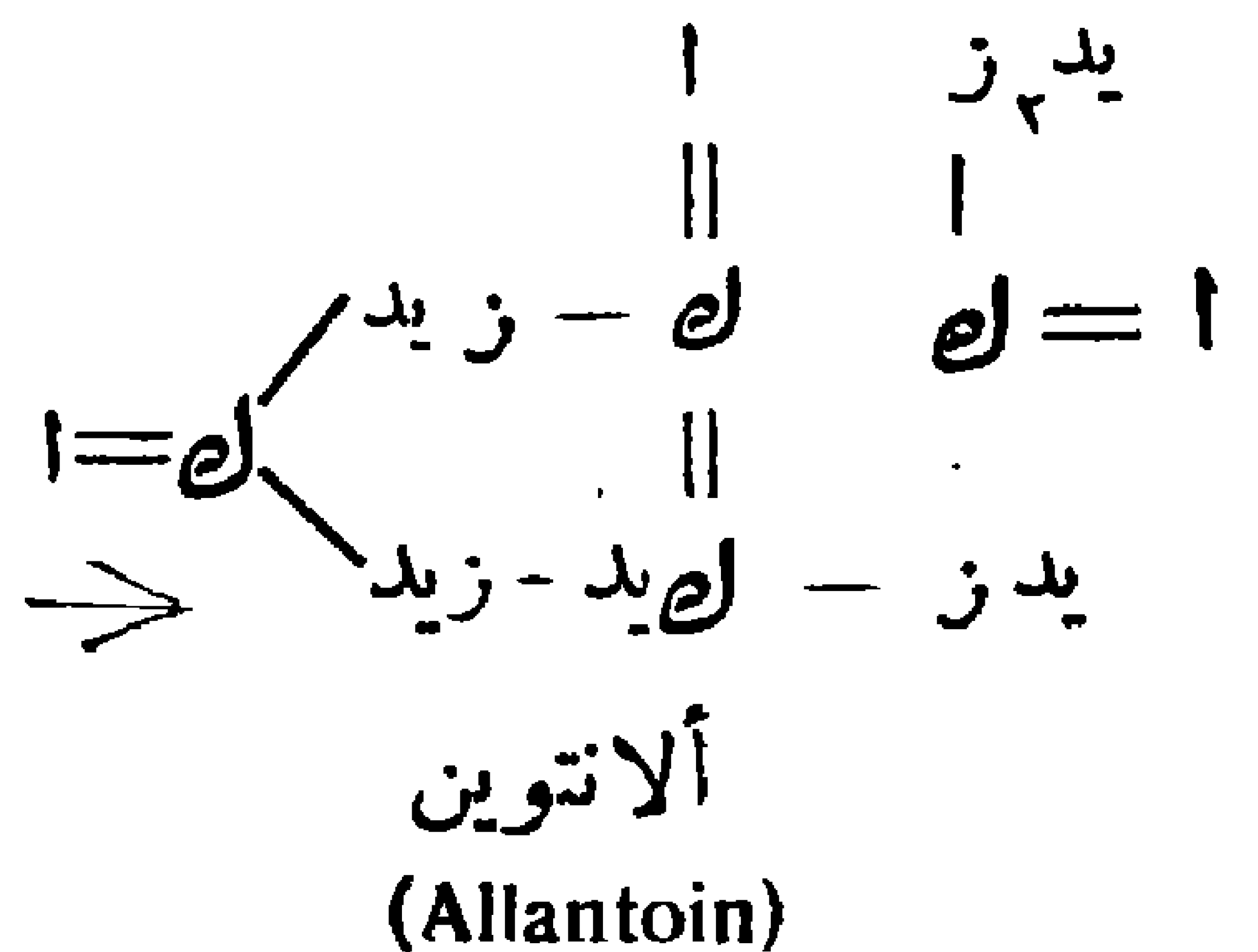
٦ — أوكسيپيورين



(زانثين)

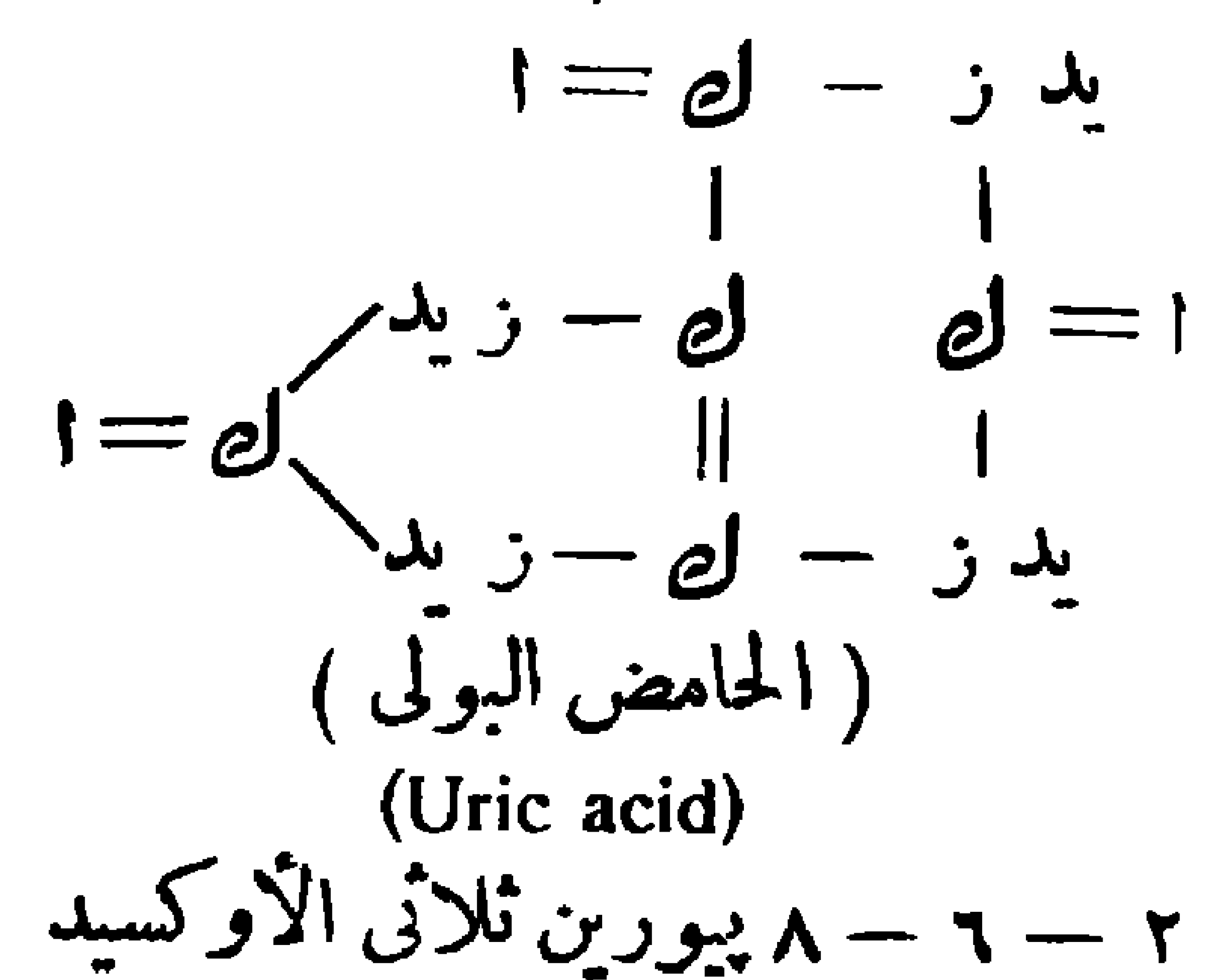
(xanthine)

٢ — ٦ — پيورين ثنائى الأوكسيد



ألانتوين

(Allantoin)



(الحامض البولى)

(Uric acid)

٢ — ٦ — ٨ پيورين ثلاثى الأوكسيد

وقد اقترحت عدة رموز لتركيب جزىء الحامض النووى من أجزائه المختلفة . ويبين الشكل الآتى اقتراح ليڤين (Levene) لتركيب الحامض النباتى .

حامض فسفوريك — ريبوز — أدينين
|
حامض فسفوريك — ريبوز — يوراسيل
|
حامض فسفوريك — ريبوز — جوانين
|
حامض فسفوريك — ريبوز — سيتوزين

ويلاحظ أن النيوكليوتيدات الأربعة تتحد مع بعضها باتحاد حامض الفسفوريك الموجود بها مع ريبوز النيوكليوتيد الذى يليه .

هضم البروتين النووى : يعتقد بعضهم أن الخميرة ببسين تفصل جزء من البروتين الموجود فى البروتين النووى ؛ وما تبقى يسمى نيوكلين (nuclein) ؛ ثم تفصل الخميرة تربسين الجزء الباقى من البروتين تاركة الحامض النووى . وربما كان انفصال البروتين عن الحامض النووى ناتجا عن عمل حامض الكلوردريك الموجود بالمعدة . ويجرى هضم البروتين المنفصل كأى بروتين آخر بوساطة الخمائر ببسين وتربسين وأربسين الموجودة فى العصارات الهضمية . ولا تفرز المعدة ولا البنكرياس أى خميرة لتحليل الحامض النووى إلى أجزائه ؛ ولكن توجد خمائر لهذا الغرض فى عصير الأمعاء الدقيقة وفى خلايا جدرانها وخلايا أنسجة أخرى من الجسم . وهذه الخمائر هى : —

١ — نيوكليز (nuclease) : وتحلل الحامض النووى إلى أربع نيوكليوتيدات . وهذه الخميرة نوعية ، أى أنها لا تؤثر فى مركب آخر عدا الحامض النووى .

٢ — فوسفاتيز (Phosphatase) : تحلل النيوكليوتيدات وتفصل منها حامض الفوسفوريك . وما تبقى من الجزىء يسمى نيوكليوسيد

(nucleoside) ، ويحتوى على مانى الكربون بنتوز وقاعدة . وهذه الخميرة غير نوعية ، إذ لها المقدرة على تحليل مركبات أخرى تحتوى على حامض الفوسفوريك مثل فوسفات الهكسوز . وتمتص النيوكليوسيدات كما هى ، ولكن قد تطرد مجموعة الأمين من نيوكليوسيد الأدينين وقت الامتصاص

٣ — نيوكليوسيديز (nucleosidase) : وتحلل النيوكليوسيدات إلى بنتوز وقاعدة بيورينية أو بيريميدينية . وقد يجرى هذا التحويل فى جدار الأمعاء وقت الامتصاص أو فى أنسجة أخرى من الجسم .

استعمال نتائج هضم البروتين النووى بالجسم :

١ — تستعمل الأحماض الأمينيه التى تتكون من هضم البروتين الموجود فى البروتين النووى بنفس الطرق التى ذكرت فى البروتينات الأخرى (ص ١٨٠)

٢ — يمتص حامض الفوسفوريك بالدم ، ويكون فوسفات تستعمل بالجسم كغيرها من فوسفات المصادر الأخرى .

٣ — لا يستعمل الجسم البنتوز الذى ينشأ من هضم الحامض النووى وامتصاصه . ولكنه يفرز بالبول بلا تغيير ؛ ولا يمكن اعتباره مصدرا للطاقة فى الجسم .

٤ — قد تستعمل قواعد البيريميدين فى بناء البروتين النووى اللازم لنوايا الخلايا ، ولكن وجد أنه إذا أعطيت مقادير كبيرة منها مرة واحدة للحيوان أفرزت بالبول كما هى . وأما إذا أعطيت فى جرع صغيرة متعددة ظهر جزء كبير منها فى البول على شكل بولينا مما يدل على تكسيرها بالجسم وتحويلها إلى بولينا .

٥ — وأما قواعد البيورين فتتأكسد بالجسم إلى الحامض البولى (uric acid) فى الانسان وقليل من الحيوانات الأخرى ، وإلى الانتوين فى

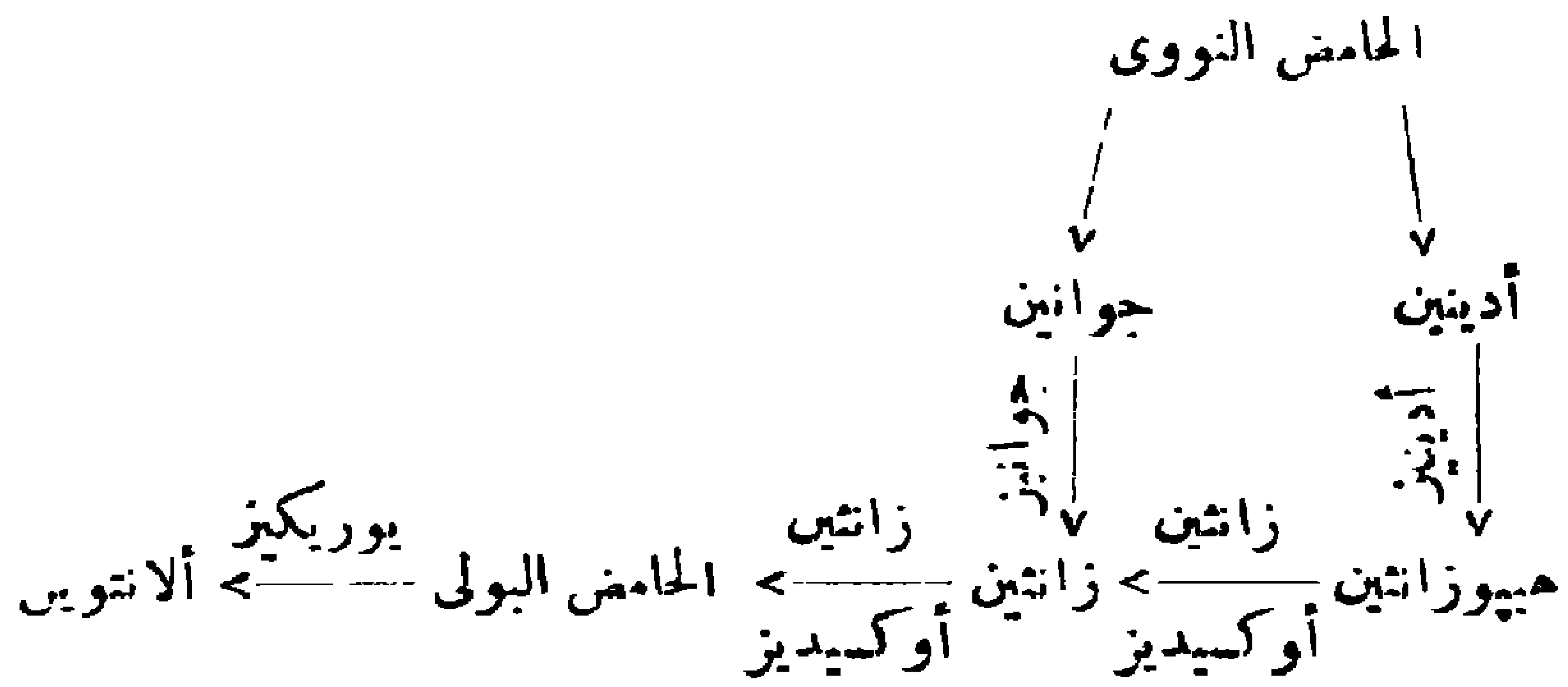
معظم الحيوانات ويجرى هذا التحويل فى خطوات متتالية بوساطة خمائر نوعية توجد فى أنسجة الجسم . وهذه الخمائر هى :

١ — تتحول القاعدة أدينين بوساطة الخميرة أدينيز (adenase) إلى هيپوزانثين (Hypoxanthine) ، وذلك باستبدال مجموعة الأمين المتصلة بذرة الكربون رقم ٦ بذرة من الأوكسيچين (انظر الرموز الموجودة فى ص٢١٢) .

٢ — تتحول القاعدة جوانين إلى زانثين (xanthine) ، وذلك باستبدال مجموعة الأمين المتصلة بذرة الكربون رقم٢ بذرة من الأوكسيچين .

٣ — يتأكسد هيپوزانثين إلى زانثين ، ويتأكسد الأخير إلى الحامض البولى بوساطة الخميرة زانثين أوكسيديز .

٤ — فى الحيوان يتأكسد الحامض البولى بوساطة الخميرة يوريكيز (uricase) إلى الألانتوين (allantoine) ، ويبين الرسم الآتى هذه الخطوات .



وقد أمكن فصل الخميرتين جوانين وزانثين أوكسيديز من كبد الانسان ، فى حين لم يمكن تحضير الخميرة أدنيز من الكبد أو أى نسيج آدمى آخر . وقد يفسر هذا وجود القاعدة أدينين فى البول الآدمى الطبيعى ، إلا أن كميتها بالبول قليلة جدا مما يدل على أن هناك طريقاً آخر لتحويلها بالجسم . وربما تحولت إلى هيپوزانثين قبل انفصالها من البنتوز كما يحدث وقت امتصاصها من الأمعاء الدقيقة . ولما كانت الخميرة جوانيز موجودة فى أنسجة أخرى من

جسم الإنسان بخلاف الكبد — كالكلى والرئتين — يظن أن تحويل الجوانين إلى زانثين يحصل فى أنسجة كثيرة من الجسم ، فى حين أن أكسدة القاعدة زانثين إلى الحامض البولى لاتحصل إلا فى الكبد فقط . ولا توجد هذه الخمائر كلها فى جميع الثدييات . فمثلا تنقص أنسجة جسم الخنزير خميرة الجوانيز ، ولذلك كثيرا ما توجد فى عضلات الخنزير رواسب من القاعدة جوانين ، ويسمى ذلك بمرض الجوانين النقرسى .

وتوجد الخميرة يوريكيز فى كبد كل الثدييات تقريبا عدا الإنسان والقردة وبعض فصائل الكلاب (Dalmation Dog)

تكوين قواعد البيورين فى الجسم

لا يعتمد الجسم على ما يأخذه من قواعد البيورين فى الطعام لتكوين البروتين النووى اللازم لنوايا الخلايا . فهناك أدلة عديدة على أنه فى إمكان أنسجة الجسم أن تصنع الحامض النووى ، ومن هذه الأدلة ما يأتى :

أولا : لا يحتوى بيض الدجاج الطازج على قواعد بيوريفية ، ولكن بتحضين البيض يتكون الجنين بخلاياه الكثيرة المحتوية على كميات كبيرة من قواعد البيورين .

ثانياً : عند ما يسبح السالمون (Salmon) (وهو نوع من السمك) من بحر الشمال إلى نهر الرين للتفريخ يكون فى حالة صيام تامة ، ومع ذلك فهو يكون أعضاءه التناسلية بما تحتويه من نوايا كثيرة فى الحيوانات المنوية والبويضات ، ويكون تكوين الأعضاء التناسلية على حساب العضلات التى قد تفقد ٥٥ ٪ من وزنها .

ثالثاً : عملت تجارب شتى باعطاء حيوانات نامية طعاما خالياً من قواعد البيورين ، مثل اللبن والبيض والخبز والبطاطس والدهن والسكر . وقد وجد أن قواعد البيورين ليست أساسية لبناء الأنسجة أو الخلايا فى حالة النمو .

ويلاحظ أنه فى الأطفال الرضع تكثر كميات الحامض النووى بالجسم مع نمو الطفل ، مع أن اللبن لا يحتوى على قواعد البيورين .

رابعاً : أعطيت امرأة صحيحة الجسم طعاماً به قليل جداً من قواعد البيورين مدة ٥٠ يوماً ، فزاد وزنها وقت التجربة أربعة كيلو جرامات ، مما يثبت أنه لم يكن هناك إتلافاً للأنسجة — ومع ذلك فقد أفرزت بالبول فى مدة التجربة كميات من الحامض البولى تفوق كثيراً تلك التى كانت بالطعام .

تثبت هذه التجارب أن قواعد البيورين يمكن صناعتها بالجسم ؛ ولكن المادة التى تستعمل فى بنائها غير معروفة تماماً ، ويظن أن بعض الأحماض الأمينية — مثل هيستدين وأرجينين — يستعملان فى ذلك ، فقد وجد أن كمية الهيستدين فى البيض عند التفريخ تنقص فى حين تزيد كميات قواعد البيورين الموجودة .

الحامض البولى (Uric Acid)

يفرز الحامض البولى بالبول نتيجة لأكسدة قواعد البيورين فى الانسان والقردة العالية والطيور والزواحف ؛ ويكوّن الحامض البولى فى الطيور والزواحف النواتج النهائية للتمثيل الغذائى للبروتين أيضاً ، فضلا عن قواعد البيورين . ففى الطيور والزواحف يوجد من ٦٠ — ٧٠ ٪ من أزوت البول على شكل الحامض البولى ؛ ويظن أنه يتكون فى كبد هذه الحيوانات باتحاد البوانيا (urea) مع حامض اللبنيك .

وللحامض البولى فى بول الإنسان مصدران : فبعضه ينتج من أكسدة قواعد البيورين التى تؤخذ مع الطعام (exogenous) ، وبعضه ينتج من تكسير نوايا الخلايا التى بالجسم أو يصنع بالجسم (endogenous)

وتوجد قواعد البيورين بالطعام إما على شكل بروتين نووى فى نوايا

الخلايا الحيوانية والنبــــاتية ؛ وإما مطلقة أو على شكل نيوكليوتيدات . فيحتوى اللحم (العضلات) على القواعد زانثين وهيبوزانثين ونيوكليوتيد الأدينين وغيرها . وتوجد قواعد البيورين أيضاً فى القهوة والشاى والكاكاو فـادة الكافيين (Caffeine) الموجودة بالقهوة ، ومادة الثيوفيلـــــين (Theophylline) الموجودة بالشاى ، ومادة الثيوبرومين (Theobromine) الموجودة فى الكاكاو — عبارة عن قواعد بيوريئية متحدة مع مجموعات الميثيل ، وتتحول المادتان كافيين وتيوفلين فى الجسم إلى الحامض البولى . وأمامادة ثيوبرومين فلا تتحول بالجسم إلى الحامض البولى بل تفرز فى البول كما هى .

ويصنع الحامض البولى فى الطيور فى الـكبد ؛ وأما فى الكلاب فقد يصنع فى أنسجة أخرى غير الـكبد إذ أنه بعد استئصال الـكبد من الكلاب تزيد كمية الحامض البولى فى الدم . وأما فى الإنسان فلا يصنع الحامض البولى إلا فى الـكبد ، إذ أنها النسيج الوحيد الذى يحتوى على الخميرة زانثين أوكسيديز (xanthine oxidase) .

وقد قام فولين (Folin) بتجارب أثبتت أن جسم الإنسان يكسر من ٣٠ — ٧٠ ٪ من الحامض البولى الذى يتكون به ، ويظهر الباقى فى البول . ويظهر الحامض البولى فى البول على شكل يوريات الصوديوم والبوتاسيوم والنوشادر ، كما يظهر كحامض بولى مطلق . وكميات الحامض البولى التى تفرز فى اليوم هى من ٥ر٠ إلى جرام واحد ، نصفه تقريباً متكون داخل الجسم والنصف الآخر متكون من أكسدة قواعد البيورين الموجودة بالطعام وتزداد كمية الحامض البولى التى تفرز بالبول إذا احتوى الطعام على كميات كبيرة من البروتين (الخالية من قواعد البيورين مثل اللبن والبيض) ومائيات الـكربون فى حين أنه إذا كان الطعام غنياً بالدهن قل إفراز الحامض البولى بالبول وزادت كميته بالدم .

مرض النقرس (Gout)

يحتوى دم الانسان على نحو ٣ ملليجرامات من الحامض البولى فى كل ١٠٠ سم٣ ؛ وتزداد هذه النسبة فى الدم فى مرض النقرس إلى نحو تسعة ملليجرامات فى حين تنقص الكمية التى تفرز بالبول ؛ ويكون المرض مصحوباً بترسيب يوريات الصوديوم الأحادية (monosodium urate) فى غضاريف المفاصل ، وخصوصاً مفاصل الأصبع الكبير للقدم . ويصحب هذا المرض التهابات مفصلية حادة تبقى مدة ثم تختفى ثم تعود مرة أخرى . ولا يعرف بالضبط سبب هذا المرض[1] ؛ فليس معروفاً إن كان ناتجاً من زيادة فى تكوين قواعد البيورين فى الجسم أومن قلة إفرازها بواسطة الكلى فى البول . كما أنه ليس معروفاً سبب ترسيب يوريات الصوديوم فى المفاصل فى هذا المرض ، وخصوصا أنه فى أمراض أخرى ، مثل اللوكيميا (Leukaemia) ، تزداد نسبة الحامض البولى فى الدم إلى ٢٧ أو ٣٠ ملليجرام فى كل ١٠٠ سم٣ . ولكن لا يترسب الحامض البولى فى المفاصل . ويقل إفراز الحامض البولى فى البول قبل النكسة فى المرض مباشرة ، ويزداد وقتها . وقد تكون كمية الافراز طبيعية بين النكسات . وفى علاج هذا المرض يلاحظ إعطاء طعام خال من قواعد البيورين بقدر الإمكان ، وبه قليل من البروتين ومائيات الكربون ؛ وقيمته الحرارية قليلة وكذا يدعو إعطاء ساليسيلات الصوديوم (soduim salicylate) وأتوفان (atophan) إلى زيادة إفراز الحامض البولى بالبول وتقليل كميته فى الدم .

---

(١) يدعى بندكت (Benedict) أن هناك نوعين من الحامض البولى فى دم الثور والحيوانات الأخرى والأنسان فقد وجد أن الدم الذى يسحب مباشرة من الحيوان يحتوى على ٠,٥ من المليجرام من حامض بولى فى كل ١٠٠ سم٣ ؛ ولكن هذه الكمية تزداد كثيرا بالغليان مع حامض الكلوردريك . وذلك نتيجة لتكسير مركب مكون من الحامض البولى والبنتوز ريبوز ، يوجد معظمه فى كرات الدم الحمراء ؛ ويظن أن هناك خميرة تحدث هذا التكسير . وقد يحدث تكسير هذا المركب فى الكلى عند الافراز ، وربما كان السبب فى مرض النقرس هو فقد الكلى لهذه الوظيفة مع بقاء وظائفها الأخرى طبيعية .

الباب التاسع عشر

التمثيل الغذائى لمائيات الكربون

امتصاص مائيات الكربون : رأينا فيما سبق أن النشــا. ومائيات الكربون الأخرى تتحلل بوساطة الخمائر الهضمية إلى أحاديات التسكر — جلوكوز وفركتوز وجالاكتوز — وتمتص هذه السكرات ، معظمها إن لم يكن كلها ، من الأمعاء الدقيقة . ويمكن للأمعاء الغليظة أن تمتص الجلوكوز ولكن فى الأحوال الطبيعية لا يصلها شيء منه ، إذ يمتص كله تقريباً من الأمعاء الدقيقة (ص ١١٣) . وتمتص هذه السكرات عن طريق الشعريات الدموية إلى الوريد البابى . ولا يمتص شيء منها عن طريق الأوعية اللبنية إلى القناة اللمفاوية الصدرية ؛ إذ أن اللمف الذى يؤخذ من هذه القناة وقت الامتصاص لا يحتوى على نسبة من السكر أكثر من تلك التى توجد فى الدم الشريانى ، فى حين أن نسبة السكر فى دم الوريد البابى تزداد كثيراً .

ولا يمتص النشــاء أو أى نوع آخر من مائيات الكربون عديدة التسكر أو ثنائيات التسكر مباشرة إلى الدم ، قبل أن تهضم مبدئياً إلى أحاديات التسكر . ولو حقن سكر القصب أو سكر اللبن مباشرة فى الدم لا يمكن للجسم أن يستعملهما بل يخرجان بالبول كميا . وأما ثنائى التسكر مالتوز فيستعمله الجسم إذا حقن بالدم مباشرة إذ يحتوى الدم وبقية أنسجة الجسم على الخميرة مالتيز التى تحلله إلى الجلوكوز .

وتتوقف سرعة امتصاص مائيات الكربون على عدة عوامل منهــا ما يأتى :

١ — تمتص أحاديات التسكر بسرعة عن ثنائيات أو عديدات التسكر. وذلك لأن عمليـة الهضم تحتاج إلى وقت ولا يمكن لثنائيات أو عديدات التسكر أن تمتص قبل هضمها. وقد وجد أنه يمكن للشخص أن يتعاطى ٣٢٠ جراما من سكر القصب بدون أن تسبب هذه الكمية الكبيرة ظهور الجلوكوز بالبول. فى حين أنه لو تعاطى الشخص مايزيد قليلا عن ١٠٠ جرام من الجلوكوز أدى ذلك إلى ظهور الجلوكوز بالبول.

٢ — عند مقارنة سرعة امتصاص أحاديات التسكر مع بعضها وجد كورى (Cori) أن الجالاكتوز أسرعها امتصاصاً ثم يليه الجلوكوز فالفركتوز فالمانوز. ولا يتوقف الفرق بين سرعة امتصاص أحاديات التسكر على فرق فى قوة انتشارها (diffusibility). ويؤخذ ذلك دليل على أن الامتصاص عملية حيوية تقوم بها الخلايا الطلائية للخمائل. (ص ١١٤).

٣ — إذا وجدت مواد أخرى فى الأمعـاء الدقيقة — كالأحماض الأمينية — قللت من سرعة امتصاص الهكسوزات.

٤ — تزداد سرعة امتصاص الجلوكوز كثيراً من الأمعاء الدقيقة إذا أضيفت الفوسفات إلى محلول الجلوكوز. وهنـــاك أدلة عديدة على أن الجلوكوز — وربمـا الهكسوزات الأخرى تمتص من الأمعاء متحدة مع حامض الفوسفوريك على شكل فوسفات الهكسوز. فمثـلا تزداد كمية الفوسفات فى السيرم وقت امتصاص الجلوكوز. وكذلك وجد أنه إذا سممت خميرة الفوسفاتيز الموجودة بجدار الأمعاء بوساطة المـــادة فلوريدزين (Phloridzin) قل امتصاص الجلوكوز من الأمعاء.

ويجب اعتبار هذه العوامل التى تؤثر على سرعة الامتصاص عند أى استنتاج لأكلة السكر الاختبارية (glucose test meal). (ص ٢٣٧)

سكر الدم : يوجد بالدم من ٠٨ر٠ إلى ١٨ر٠[1] من الجرام من السكر بكل ١٠٠ سم٣ ونوع سكر الدم هو الجلوكوز . ولكن ليس معروفاً للآن إن كان بالدم شيء من الهكسوزات الأخرى . وإذا زادت نسبة السكر فى الدم عن ١٨ر٠ من الجرام فى كل ١٠٠ سم٣ خرج السكر بالبول وهذا لا يحدث فى الأحوال العادية . وتسمى هذه النسبة بالحد الأدنى الكلوى (renal threshold) . وتسمى الزيادة فوق هذه النسبة « ارتفاع سكر الدم » (hyperglycaemia) وإذا قلت نسبة السكر فى الدم عن ٠٨ر٠ من الجرام فى كل ١٠٠ سم٣ أدى ذلك إلى أعراض شديدة قد تسبب الوفاة . وتبدأ هذه الأعراض فى الانسان عند ما تكون النسبة ٠٧٥ر٠ من الجرام بجوع شديد وشعور بالتعب والإعياء — الجسمى والفكرى — وإفراز كثير للعرق واضطراب فى الجهاز العصبى الذى ينظم قطر الأوعية الدموية (vasomotor disturbances) مما يؤدى إلى احمرار الجلد أو بهتانه . وعند ما تقل النسبة أكثر من ذلك يضطرب العقل ثم يصاب الشخص بالغيبوبة . وتسمى قلة السكر فى الدم عن ٠٨ر٠ من الجرام « انخفاض سكر الدم » (hypoglycaemia) . وتدل هذه الأعراض على أنه يجب أن تكون نسبه السكر فى الدم فوق نسبة معينة كى يقوم الجهاز العصبى بوظيفته .

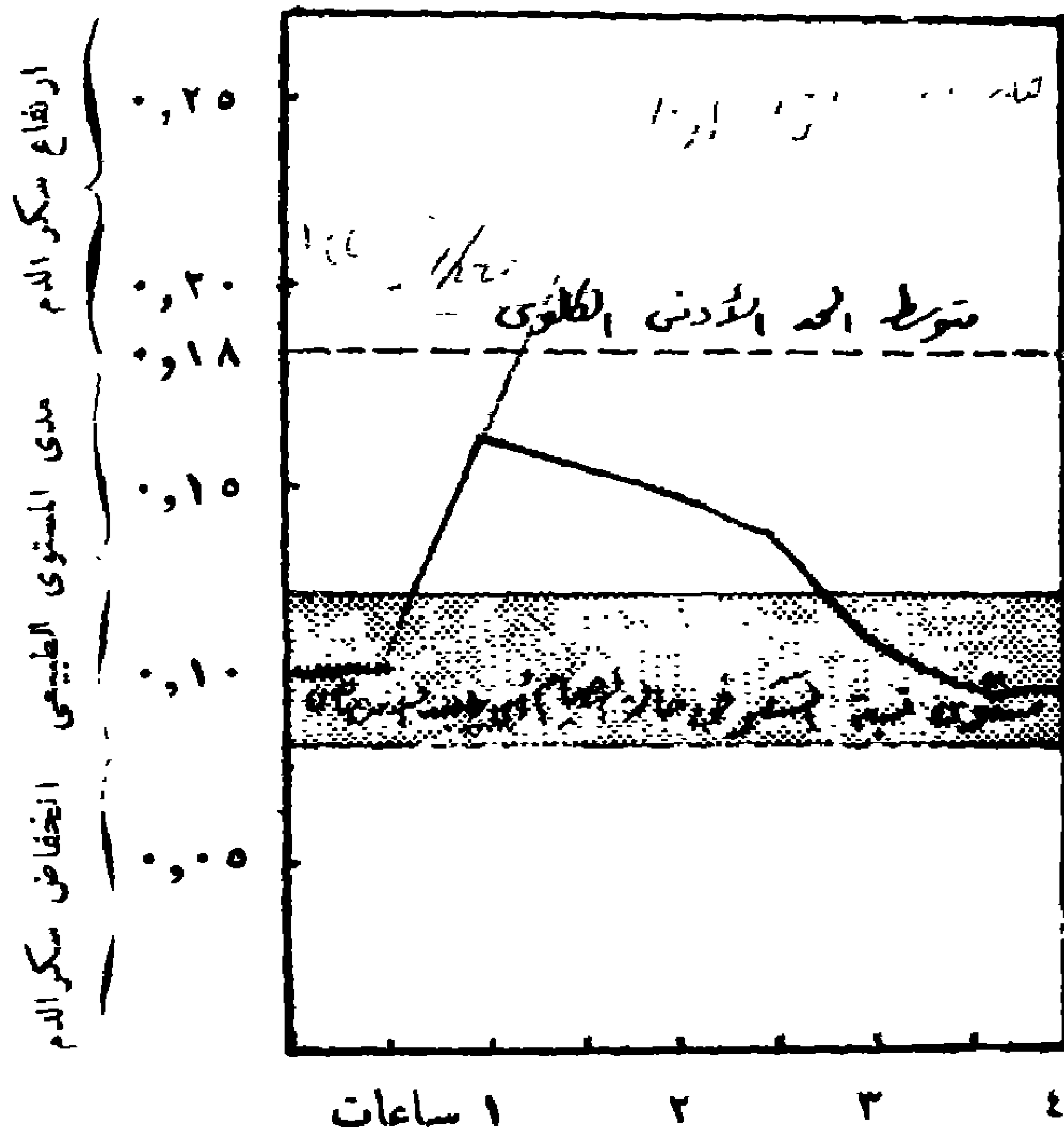
وتأخذ أنسجة الجسم السكر من الدم باستمرار لاستعماله ، ومع ذلك لا يحدث فى الأحوال العادية أى انخفاض فى سكر الدم ، مع أن كل الدم الموجود بالجسم لا يحتوى إلا على خمسة جرامات من السكر تقريباً يستهلكها الجسم فى حوالى ربع ساعة . وكذلك لا يحدث ارتفاع فى

---

(١) تعتمد معظم الطرق لتقدير كمية سكر الدم على قدرة الدم الكلية للاختزال (total reducing power) . إذ كان يظن مبدئيا أنه ليس فى الدم مواد أخرى لها قدرة اختزال غير السكر ولكن ظهر حديثا أن هناك فى الدم مثل هذه المواد (الجلوتاثيون والثيونين) . ولذلك فان الأرقام التى تعطى لنسبة السكر فى الدم أعلى من الحقيقة . ولكن لحسن الحظ كانت كمية هذه المواد الأخرى ثابتة فى الدم ولا تتغير مما يبقى الاستنتاجات التى اكتشفت بهذه الطرق صحيحة .

سكر الدم يؤدى إلى ظهور سكر بالبول بعد أكلة عادية من مائيات الكربون ، مع أن كميات كبيرة من السكر تمتص إلى الدم .

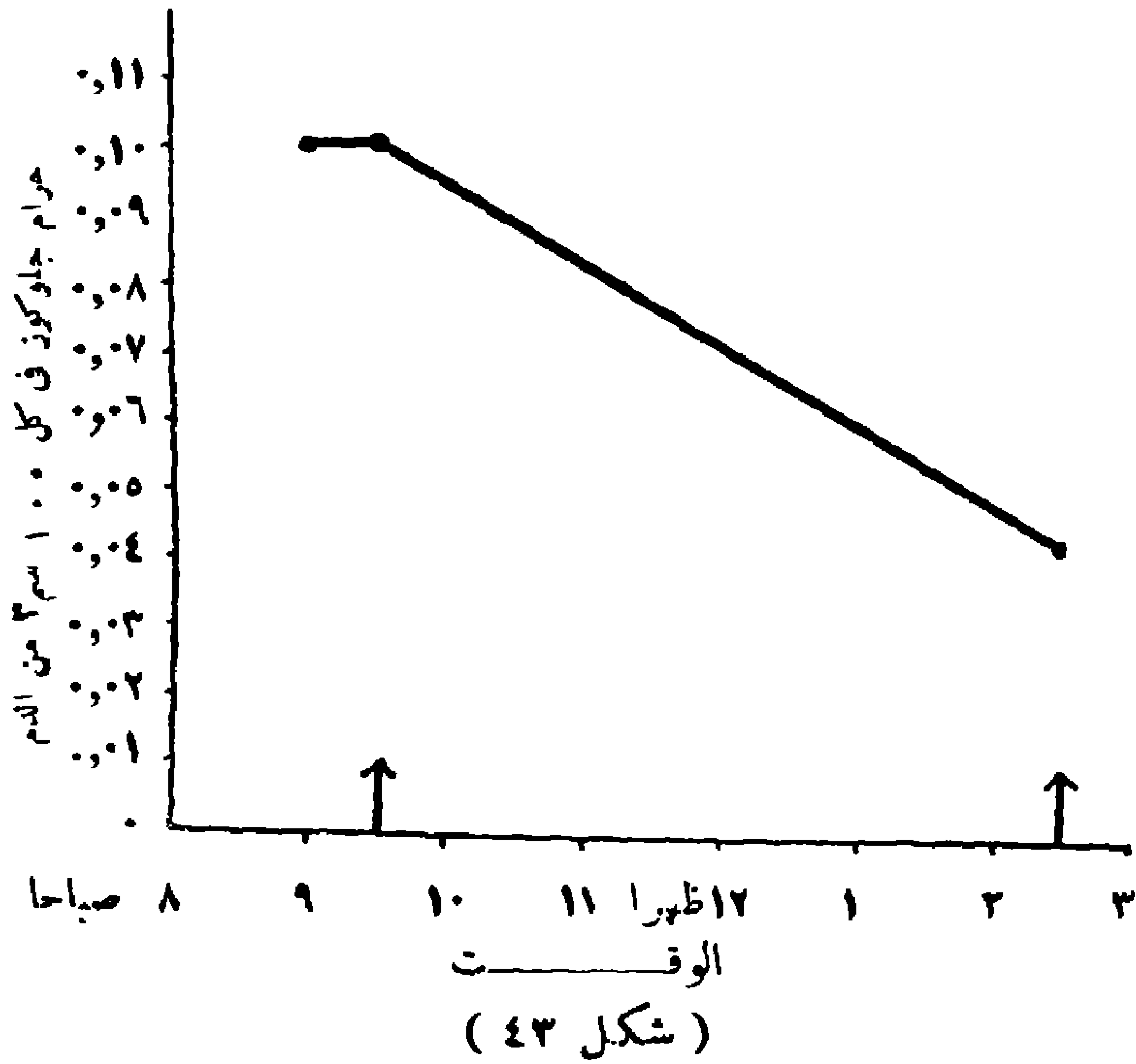
ويبين شكل (٤٢) التغيير الذى يحدث فى نسبة السكر فى الدم بعد أكله عادية مكونه من مواد الطعام الثلاث . ومما يجدر ملاحظته فى هذا الشكل أن نسبه السكر لا ترتفع فوق ١٨ر. من الجرام — وهو الحد الأدنى الكلوى لظهور السكر بالبول (Renal threshold) — وعلى ذلك يبقى البول خالياً من السكر ، وأن نسبة السكر بالدم تنخفض ثانية إلى مستواها قبل الأكل فى ظرف ثلاث ساعات . وتنظم نسبة السكر فى الدم عدة عوامل توازن بين ما يرد من السكر إلى الدم وبين ما تستعمله الأنسجة من سكر الدم .



(شكل ٤٢)

مصادر سكر الدم : (Origin of blood sugar) : يشتق سكر الدم مباشرة من مصدرين وهما مائيات كربون الطعام وجليكوچين الكبد ، أى النشاء الحيوانى المخزون بها . وفى حالة الصيام يكون جليكوچين الكبد المصدر المباشر الوحيد لسكر الدم . فإذا صام الشخص فإن كمية السكر بالدم لا تقل عن ٠٨ر. من الجرام فى كل ١٠٠ سم٣ إذ يتحول الجليكوچين

الموجود بالكبد إلى جلوكوز . وذلك بوساطة الخميرة جليكوچينيز الموجودة بالكبد . وحتى فى حالة الصيام المستمر تقدم الكبد إلى الدم الجلوكوز باستمرار مع أن مابها من الجليكوچين المخزون ينفذ سريعاً . وذلك لأن الكبد تستطيع أن تصنع الجلوكوز من مواد أخرى غير مائيات الكربون . ومما يدل على أهمية الكبد فى تنظيم نسبة السكر بالدم أنه لو استؤصلت الكبد من حيوان مات الحيوان سريعاً من انخفاض سكر الدم (شكل ٤٣) . وقد أمكن بقاء الحيوان لمدة ٢٦ ساعة بعد استئصال الكبد منه وذلك بوساطة حقنه بالجلوكوز باستمرار .



(شكل ٤٣)

متوسط النقص فى سكر الدم فى ١٣ حالة من حالات استئصال الكبد . ويبين السهم الأول وقت استئصال الكبد والسهم الثانى أن الحيوان قد أصبح فى حالة النزع (مان ومجاث)

ومصادر جليكوچين الكبد — أى مصادر سكر الدم — هى :

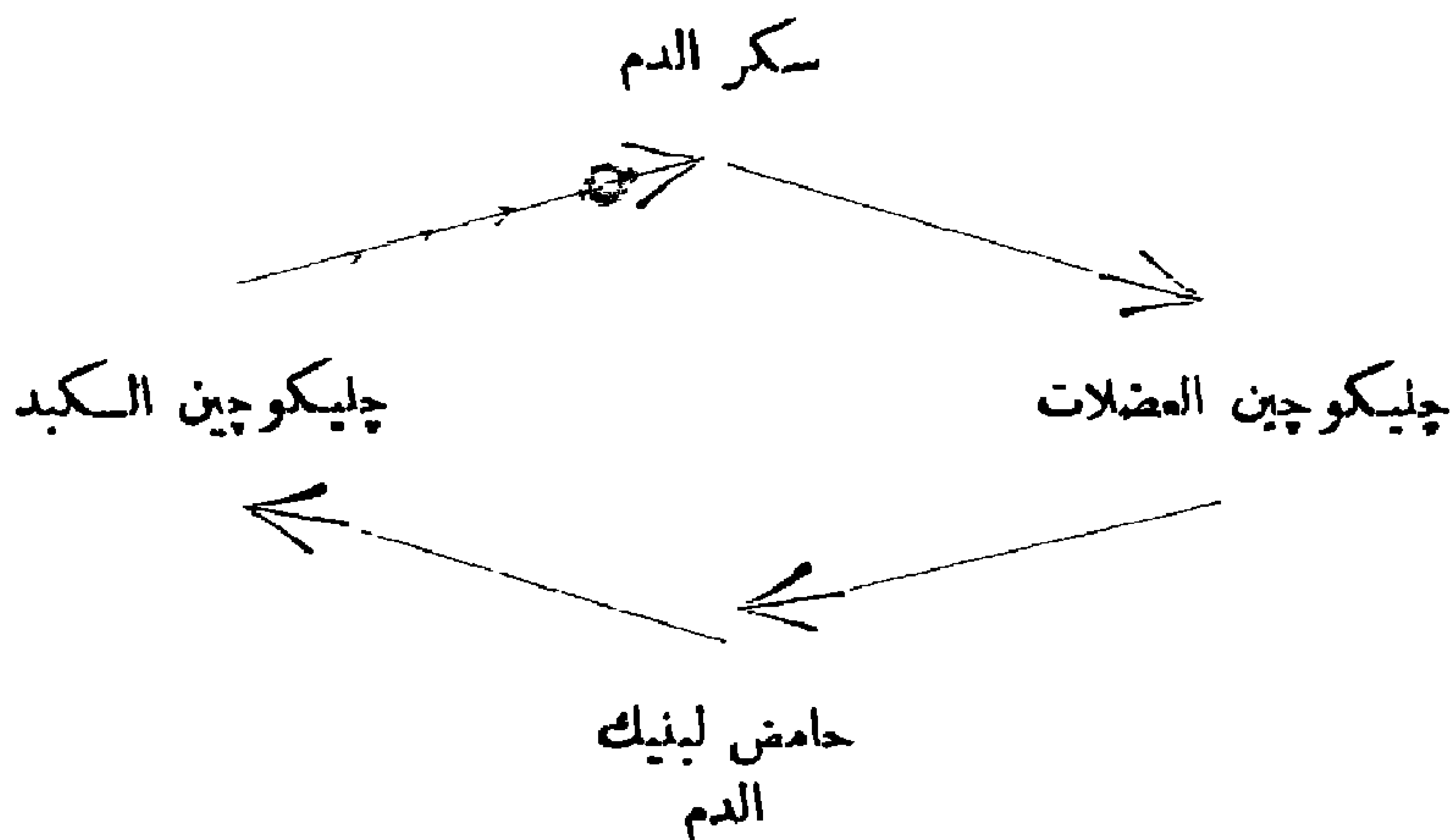
(١) — كل أحاديات التسكر التى تنتج من هضم الطعام وتحتوى على ست ذرات من الكربون — وهى الجلوكوز والفركتوز والجالاكتوز . وتستطيع الكبد أيضاً أن تخزن الجليكوچين من المانوز ولكن هذا الهكسوز نادر الوجود فى غذائنا . ومن المعتقد به أن الكبد تحول هذه الهكسوزات

بعد امتصاصها إلى جلوكوز . وذلك لأن الجلوكوز هو أقوى هـــــذه الهكسوزات فى شفاء أعراض انخفاض السكر بالدم فى الحيوان أللاكبدى

(٢) — ٥٨ ٪ من الكربون الموجود بجزىء البروتين (ص ١٩٨) . ومن المعتقد به أيضاً أن الكبد هو مكان تحويل الأحماض الأمينية إلى جلوكوز . وذلك لأنه لو حقن الحمض الأمينى — جليسين مثلا — فى الحيوان اللاكبدى لا يشفى أعراض انخفاض السكر ؛ مع أن الجليسين من الأحماض الأمينية التى تتحول فى الحيوان العادى إلى جلوكوز .

(٣) — الجليسرين الموجود بجزىء الدهن ، ويكون ١٠٪ تقريباً من الجزىء وأما الأحماض الدهنية فهناك شك فى امكان تحولها بالجسم إلى جليكوچين أو جلوكوز من عدمه (ص ٢٧٤)

(٤) — حامض اللبنيك وحامض بيروفيك وثانى إيدروكسيد الأسيتون (dihydroxyacetone) . وهذه المواد تتكون بالعضلات كخطوات متوسطة فى استعمال الجليكوچين بها . وتمر من العضلات إلى الدم وعند ما تصل إلى الكبد تتحول إلى جليكوچين ، وهذا يتحول إلى سكر الدم الذى تستعمله العضلات مرة أخرى لتكوين الجليكوچين بهـا ، وتسمى هذه الحلقة من التحويلات بحلقة كورى (Cori cycle) ويمكن تمثيلها بالرسم التخطيطى الآتى:



وهكذا نرى أن جليكوچين العضلات قد يتحول إلى سكر بالدم ولكن يحدث ذلك عن طريق غير مباشر .

وجليكوچين الكبد عبارة عن مخزن لمائيات الكربون بالجسم . ويمكن تمثيله بالنشاء الذى يخزن فى الخلايا النباتية . ولكن كمية الجليكوچين التى يمكن أن تخزن بالكبد محدودة . وهى حوالى ٢٠٠ جرام فى كبد الشخص البالغ الذى يتغذى غذاء جيداً . وصناعة الجليكوچين بالكبد عملية مستمرة ؛ فعند الامتصاص يصنع الجليكوچين من هكسوزات الطعام وعند الصيام يصنع من مصادر أخرى كالأحماض الأمينيـــــة . ولكن لا تزيد كمية الجليكوچين بالكبد باستمرار ، إذ أنه يصحب صناعة الجليكوچين تحليله إلى جلوكوز يمر بالدم وهى أيضا عملية مستمرة . فقد وجد أن الدم الذى يترك الكبد فى الوريد الكبدى (Hepatic vein) يحتوى دائما أبدا على نسبة من سكر الدم أكثر من تلك التى توجد بالوريد البابى (Portal vein) حتى فى وقت امتصاص الهكسوزات من الأمعاء الدقيقة . ولو أن الفرق يصبح ضئيلا وقت الامتصاص . وعليه نرى أن كمية الجليكوچين التى توجد بالكبد تتوقف على عمليتين ؛ وهما عملية صناعته (glycogenesis) [١] وعملية تحويله إلى جلوكوز بالدم (glycogenolysis) . فإذا زادت العملية الأولى عن الثانية زادت كميـة الجليكوچين بالكبد والعكس بالعكس ، وتزداد صناعة الجليكوچين فى الكبد عند ما تزيد نسبة السكر فى الدم كما يحدث عند امتصاص الهكسوزات من الأمعاء الدقيقة وقد تبلغ نسبة الجليكوچين بالكبد بعد أكلة جيدة من مائيات الكربون ١٢٪ أو أكثر من الوزن الكلى للكبد

وتزداد عملية تحويل جليكوچين الكبد إلى سكر الدم عن عملية صناعة الجليكوچين — فيقل جليكوچين الكبد — فى الأحوال الآتية :

١ — فى كل الأحوال التى يحتاج فيها الجسم إلى صرف كميات كبيرة من الطاقة ؛ كالمجهود الرياضى الشديد أوالتعرض إلى البرد . ففى هذه الأحوال

(١) تسمى صناعة الجليكوجين من الجلوكوز (glycogenesis) وأما صناعته من المصادر الأخرى — غير مائيات الكربون — كالأحماض الامينية فتسمى (glyconeogenesis)

تكون مخازن مائيات الكربون أول مصدر يحصل منه الجسم على الطاقة اللازمة له

٢ — فى الصيام — يستعمل معظم جليكوچين الكبد فى اليوم الأول من الصيام ولكن حتى فى حالة الصيام المستمر لا يختفى الجليكوچين من الكبد بتاتا بل تبقى بها نسبة ضئيلة منه

٣ — فى كل الأحوال التى تدعو إلى إفراز الأدرينالين ، كما يحدث عند الاختناق أو قلة الأوكسيچين فى الدم أو عند إتلاف قاع البطين الرابع بالنخاع المستطيل (La piqûre of Claude Bernard) أو عند نقص كمية السكر فى الدم ، ويفرز الأدرينالين أيضا فى المجهود الرياضى الشديد وعند التعرض للبرد

٤ — عند تنبيه الأعصاب السمپاثوية التى تجهز الكبد

٥ — إذا حقن الحيوان بالهرمون المولد للبول السكرى الذى يفرز بالفص الأمامى للغدة النخامية (Diabetogenic hormone) أو إذا حقن بالهرمون ثيروكسين .

٦ — إذ حقن الحيوان بمادة الفلوردزين (ص ٢٣٦)

وهناك عامل واحد معروف يردع هذا التحويل وهو الهرمون إنسولين [١].

استعمال مائيات الكربون بالجسم: رأينا أن امتصاص الهكسوزات التى تتولد من هضم مائيات الكربون يسبب ارتفاعا مؤقتا فى سكر الدم (شكل ٤٢) ثم تنخفض نسبة سكر الدم بعد ذلك إلى مستواها فيما قبل الامتصاص . وينتشر السكر فى الدم ويوزع على جميع أنسجة الجسم فيوجد السكر فى جميع

---

(١) إذا حقن الانسولين بكميات كبيرة فى حيوان أدى ذلك إلى انخفاض فى سكر الدم ويسبب ذلك نقص جليكوچين الكبد . ويكون تأثير الانسولين فى هذه الحاله مضادا لوظيفته الطبيعية بالجسم .

أنسجة الجسم وسوائله إذ أن جدران الشعريات الدموية وأغشية خلايا الأنسجة تسمح بمروره بسهولة، فيوجد السكر فى جميع أنسجة الجسم وسوائله تقريبا بنسبة وجود الماء فى كل منها [١] . فاذا حقن بالدم محلول مركز من الجلوكوز أدى ذلك أولا إلى ارتفاع فى نسبة الجلوكوز بالدم ، ثم يحدث انخفاض سريع فى هذه النسبة . ففى مدة دقائق قليلة تقل كثيرا ويعقب ذلك انخفاض بطىء حتى نحصل على نسبة سكر الدم التى كانت موجودة قبل الحقن . وسبب النقص السريع المبدئى هو انتشار الجلوكوز من الشعريات الدموية إلى الأنسجة وسوائلها ، فيمر إلى الليمف وإلى السائل المخى الشوكى (cerebro-spinal fluid) وغيرهما . ويحدث هذا الانتشار السريع لكل أحاديات التسكر حتى إذا كانت — مثل الجالاكتوز — لا يمكن أن تستعمل بالأنسجة مباشرة قبل تحويلها إلى جلوكوز بالكبد . فاذا ماقلت النسبة بالدم ثانية — وذلك لاستعمال الجالاكتوز بالكبد — مر ثانية من الأنسجة إلى الدم ليتحول إلى جلوكوز بوساطة الكبد .

ويستعمل الجلوكوز بالجسم فى إحدى الطرق الآتية :

١ — يتحول إلى جليكوجين بالكبد والعضلات .

٢ — يتأكسد إلى ثانى أكسيد كربون وماء ويعطى طاقة .

٣ — يتحول إلى دهن يخزن بالجسم .

٤ — يدخل فى تركيب عدة مركبات بالجسم .

٥ — فى أحوال غير عادية يخرج بالبول .

جليكوجين الكبد : وقد تكلمنا عليه فيما سبق .

جليكوجين العضلات : تصنع العضلات مابها من الجليكوجين من السكر الموجود بالدم . ويوجد بالعضلات مقادير مختلفة من الجليكوجين إذ تحتوى

(١) يقول فولين أن كميات كبيرة من السكر الذى يمتص تخزن مؤقتا فى الجلد ، ثم تمر تدريجيا بعد ذلك لتتحول إلى جليكوجين بالكبد أو بالعضلات .

على ١،٠ إلى ١،٨ من الجرام بكل ١٠٠ جرام . ولو أن نسبة الجليكوچين بالعضلات أقل منها بالكبد إلا أنه يوجد بكل عضلات الجسم مقدار من الجليكوچين أكبر من ذلك الذى يوجد بالكبد نظراً للفرق الكبير بين الوزن الكلى لعضلات الجسم ووزن الكبد . وتحتوى عضلات جسم الشخص البالغ الذى يتغذى غذاء جيداً على ٣٥٠ جرام من الجليكوچين فى حين تحتوى الكبد على ٢٠٠ جرام فقط .

وليس جليكوچين العضلات مصدرا مباشرا لسكر الدم إذ أن جليكوچين العضلات لا يقل فى الصيام كما يقل جليكوچين الكبد . وحتى بعد المجهود الرياضى الشديد — حيث تستعمل العضلات ما بها من الجليكوچين بكثرة — نرى العضلات تستعيض نسبة الجليكوچين بها ثانية من سكر الدم على حساب جليكوچين الكبد . وقد رأينا فيما سبق أن جليكوچين العضلات قد يتحول إلى سكر بالدم عن طريق غير مباشر (حلقة كورى) .

٢ — *أكسدة مائيات الكربون إلى ثانى أكسيد كربون وماء بالأنسجة* :
درست أكسدة مائيات الكربون دراسة عميقة بالنسيج العضلى ؛ إذ يتحول الجليكوچين إلى حامض اللبنيك ، ويعطى هذا التحويل طاقة ، ويحدث حتى فى غياب الأوكسيچين أو الدورة الدموية أى أنه لا هوائى . وهذا التحويل مصدر هام للطاقة اللاهوائية بالعضلات يمكنها من الإنقباض والقيام بأعمال لمدد معينة أكثر مما تسمح به سرعة الدورة الدموية التى تمدها بالأوكسيچين. وهكذا يتمكن الجسم أن يصبح مديناً بالأوكسيچين وقت القيام بالمجهود الرياضى . فإذا ما انتهى المجهود دفع الجسم ما عليه من الدين وذلك باستعمال مقادير من الأوكسيچين وقت الشفاء من المجهود الرياضى أكثر مما يؤخذ وقت الراحة (ص ١٤٩) .

وفى وجود الأوكسيچين يتأكسد بعض من حامض اللبنيك الذى يتكون

بالعضلات ، وتستعمل الطاقة الناشئة فى تحويل البعض الآخر إلى جليكوچين ثانية ، وفى تحويل الكرياتين والفوسفات إلى فوسفاچين مرة أخرى . وتظهر بعض الطاقة بشكل حرارة مفقودة ؛ وينبه الإنسولين أكسدة حامض اللبنيك بالعضلات .

الخطوات المتوسطة فى تحويل الجليكوچين إلى حامض اللبنيك : إذا وضعت الخلاصة المائية للعضلات (Water extract) على محلول من الجليكوچين أو الجلوكوز أو فوسفات الجلوكوز حولتها بسرعة إلى حامض اللبنيك . وتحتوى هذه الخلاصة على خميرة تسمى ميوزيميز (Myozymase) أى الخميرة العضلية . وهى تتلف بسرعة بالتسخين كغيرها من الخمائر وتحتوى الخلاصة أيضاً على مساعد للخميرة لا يتلف بالتسخين ويتكون المساعد من أملاح المغنسيوم وأدينيل بيروفوسفات (Adenyl Pyrophosphate). ويمكن فصل الخميرة عن مساعدها بوساطة مفرق غروى (Collodion sac) فيمر المساعد من الغشاء المفرق فى حين تبقى الخميرة به . ولا يمكن للخميرة بمفردها أو للمساعد بمفرده أن يقوما بتحويل الجليكوچين إلى حامض اللبنيك . ويظن إمبدين ومايرهوف (Embden & Mayerhoff) . أن الخطوات المتوسطة للتحليل المائى للجليكوچين هى :

١ — يتحول الجليكوچين إلى جلوكوز ،

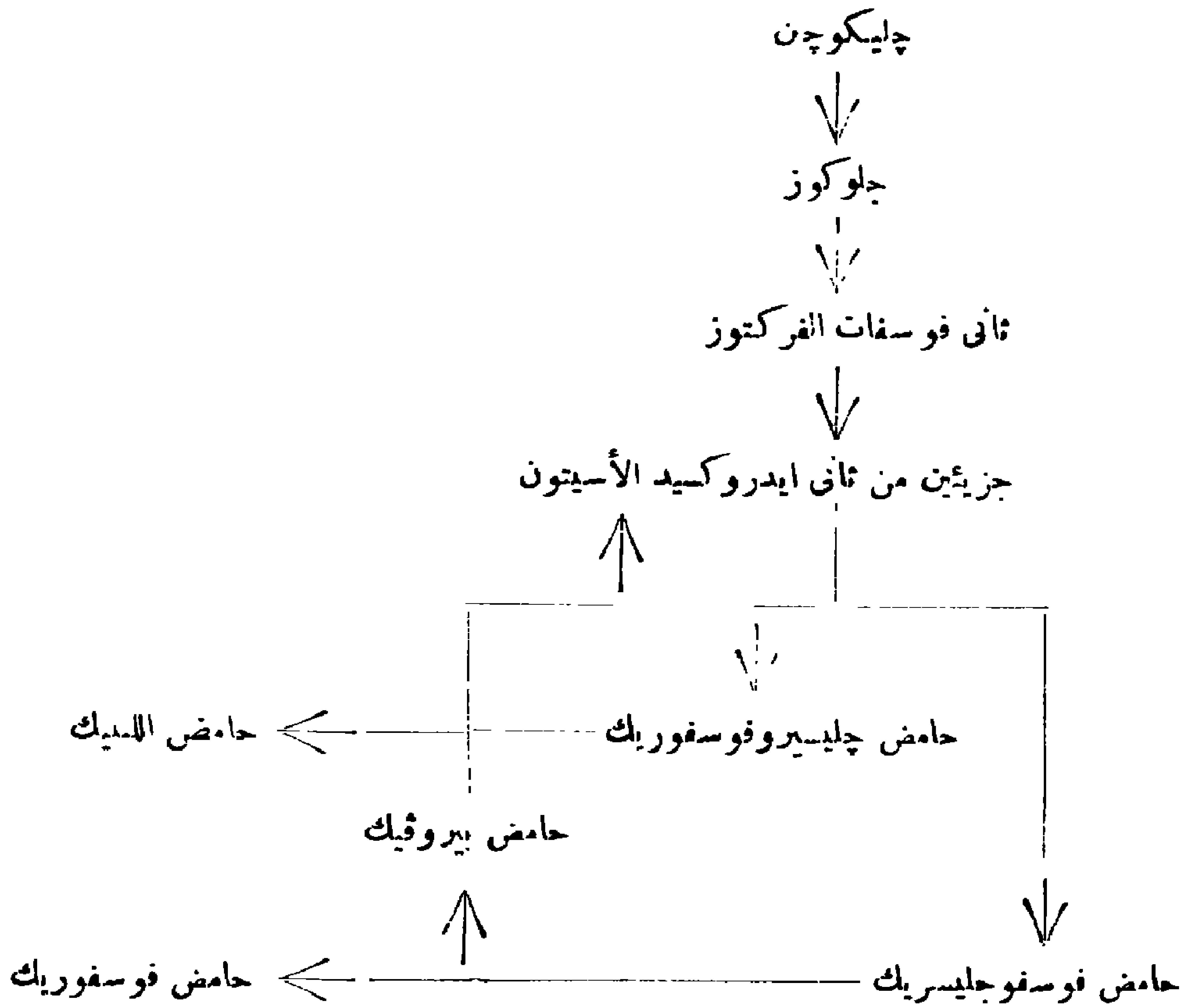
٢ — يتحد الجلوكوز مع جزيئين مع حامض الفوسفوريك ويتحول إلى ثانى فوسفات الفركتوز (Fructose diphosphate) .

٣ — يتحول ثانى فوسفات الفركتوز إلى جزيئين من ثانى إيدروكسيد الأسيتون .

٤ — يتحول الجزيئان من ثانى إيدروكسيد الأسيتون إلى جزىء من حامض الجليسروفوسفوريك (Glycero-phosphoric acid) وجزىء من حامض الفوسفوجليسيريك (phosphoglyceric acid) .

٥ — يفقد حامض فوسفوجليسيريك جزىء حامض الفوسفوريك الذى به ويتحول إلى حامض پيروڤيك .

٦ — يتفاعل حامض بيروڤيك مع حامض جليسرو فوسفوريك ويكون التفاعل جزىء حامض اللبنيك وجزىء من ثانى إيدروكسيد الأسيتون ليمر بالدورة نفسها مرة أخرى كما بالشكل الآتى :



وإذا أضيف إلى الخلاصة المائية للعضلات حامض الأيودو خليك (Iodo acetic acid) وقف التفاعل (٦) وإذا أضيف فلورور الصوديوم وقف التفاعل (٥) .

٣ — **تحويل مائيات الكربون إلى دهن** : يمكن تحويل مائيات الكربون إلى دهن بجسم الحيوان إذ انه من المعلوم للزارع أنه يمكن تسمين الماشية بغذاء تتكون غالبيته من مائيات الكربون وهناك تجارب أخرى علمية تثبت ذلك منها ما يأتى :

ا — قام العالمان لاوس وجلبرت (Lawes & Gilbert) بالتجربة الآتية:
أحضرا خنزيرين توأمين وقدرا بالتحليل كمية الدهن الموجودة فى أحدهما. ثم أطعما الآخر غذاء من الشعير عدة أسابيع ، وعند تحليله وجدا أنه قد خزن بجسمه مقداراً من الدهن أكبر كثيرا مما يمكن لو أن كل البروتين والدهن الموجودين بالطعام قد خزنا بالجسم على شكل دهن وعلى ذلك استنتجا أن بعضاً من هذا الدهن على الأقل صنع بالجسم من مائيات كربون الطعام.

ب — وجد فى بعض الحيوانات التى تنام شتاء أنه قبل نومها الشتوى يكون لها معامل تنفس فوق الوحدة ويدل ذلك على تحويل مائيات الكربون إلى دهن بالجسم (ص ١٢٥).

٤ — **صناعة عدة مركبات بالجسم**: تصنع غدد الثديين سكر اللبن من سكر الدم. وقد يمتص سكر اللبن ثانية فى الدم إذا لم يرضعه الطفل. وعند ذلك لا يمكن للجسم أن يستعمله بل يخرج بالبول. ولسكر اللبن المقدرة على اختزال محلول فهلنج ويمكن تمييزه من الجلوكوز بالبول لأنه يعطى أوزازون مخصوص. ولا تؤثر فيه خميرة البيرة (yeast).

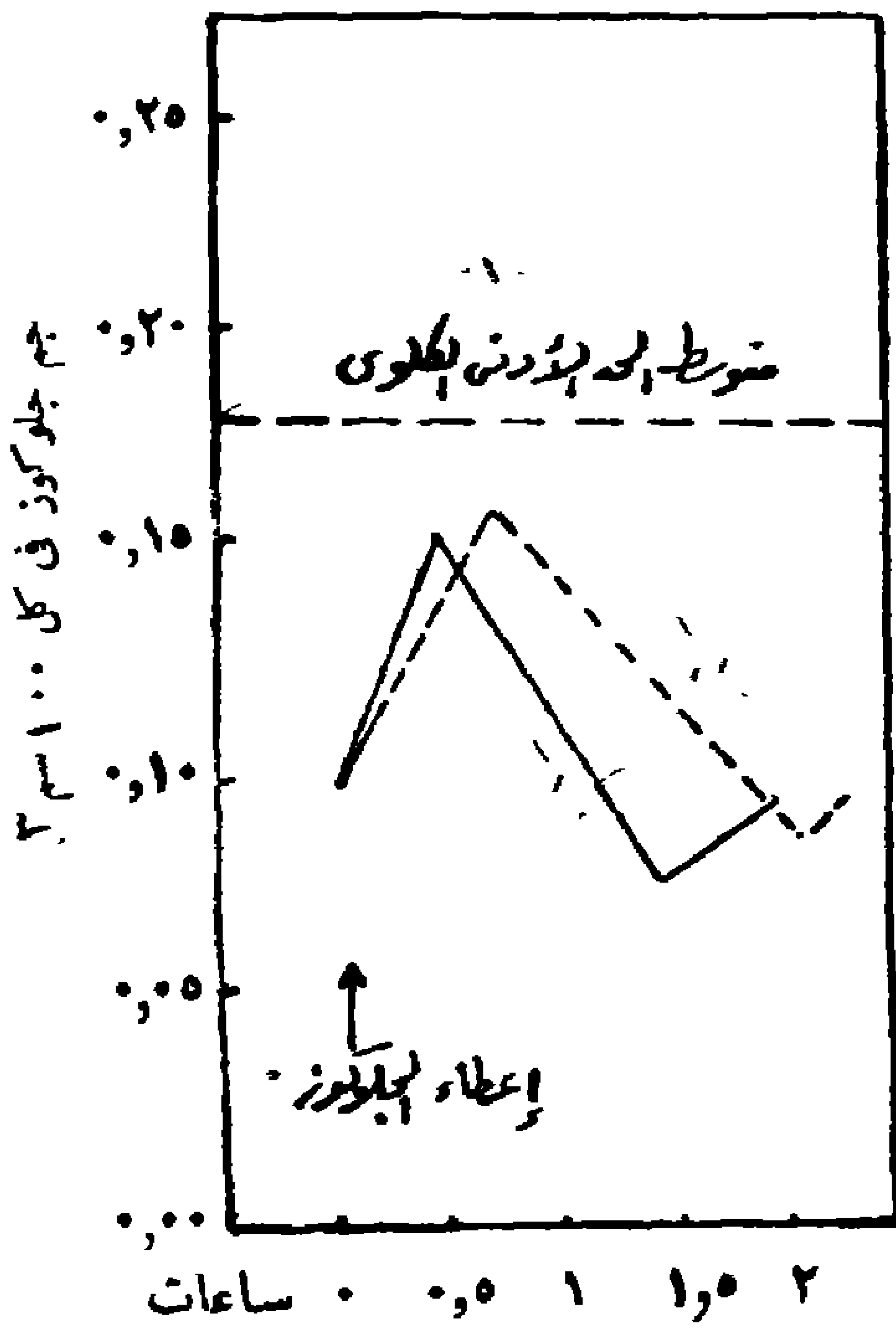
وكذلك يدخل الجلوكوز فى صناعة عدة مشتقات أخرى بالجسم منها الجالاكتوسيدات الموجودة بالنسيج العصبى، والجلوكوزامين الذى يدخل فى تركيب الجلوكوبروتين الموجود فى الأفرازات المخاطية والكوندروزامين الذى يدخل فى تركيب كوندرويتين حامض الكبريتيك الموجود بالغضاريف وحامض جلوكورونيك الذى يتحد مع الفينول وغيره من المواد السامة فيقل ضررها ، والبنتوزات التى تدخل فى تركيب الحامض النووى والنيوكليوتيدات الموجودة بالعضلات والأنسجة الأخرى.

٥ — **اخراج السكر بالبول أو الجلوكوزوريا** : **(Glucosuria)**
الجلوكوزوريا هى ظهور الجلوكوز فى البول بمقادير كافية لاختزال محلول

فهلنج . ويوجد بالبول الطبيعى آثار قليلة جداً من مواد مختزلة أثبت الأستاذ على حسن أن بينها الجلوكوز ، ولكنها فى الأحوال العادية لاتكفى لاختزال محلول فهلنج . والجلوكوز هو أحد المواد التى توجد باستمرار فى الدم ولكن لاتسمح الكلى بخروجه فى البول إلا إذا زادت نسبته عن الحد الأدنى الكلوى وهو على المتوسط ١٨ر٠ من الجرام من السكر فى كل ١٠٠ سم٣ من الدم . وهناك سببان رئيسيان لظهور الجلوكوز بالبول وهما :

(ا) ارتفاع نسبة السكر فى الدم فوق الحد الأدنى الكلوى .

(ب) انخفاض الحد الأدنى الكلوى عن المستوى العادى فيظهر السكر فى البول دون أن يكون هناك أى ارتفاع فى نسبة السكر فى الدم عن المدى الطبيعى



(شكل ٤٤)

وتوجد عدة أنواع من الجلوكوزوريا تختلف عن بعضها فى أسبابها وأغراضها وطرق علاجها ، ويستعمل للتفرقة بينها فى الانسان الرسم البيانى لتحمل السكر بالجسم (sugar tolerance test) ، ولذلك نرى أن نبدأ بوصف هذا الرسم البيانى للشخص العادى . ولإجراء هذا الرسم يعطى الشخص ٥٠ جراما من الجلوكوز فى الصباح قبل تناول طعام الفطور أو أى شىء آخر ، وتؤخذ عينات من البول والدم لتحليل السكر بهما قبل إعطاء الجلوكوز مباشرة ، وبعد إعطاء الجلوكوز كل ربع ساعة أو نصف ساعة . وتكون نتيجة التحليل فى الرجل العادى كما يأتى : —

أولا — لا تختزل أى عينة من عينات البول — سواء قبل إعطاء الجلوكوز أو بعد إعطائه — محلول فهلنج .

ثانياً — تكون نسبة الجلوكوز فى الدم قبل إعطاء الجلوكوز من ٠٫٠٨ — ٠٫١٢ من الجرام من الجلوكوز فى كل ١٠٠ سم٣ من الدم ، وهى نسبة الجلوكوز فى دم الصائم .

ثالثاً — ترتفع نسبة الجلوكوز فى الدم إلى ٠٫١٣ — ٠٫١٨٪ من الجرام فى كل ١٠٠ سم٣ بعد ثلاثين أو خمس وأربعين دقيقة من تناول الجلوكوز.

رابعاً — تنخفض النسبة ثانية إلى مستواها فى الصائم ؛ وقد تنخفض[١] تحت مستوى الصيام فى بحر ساعة ونصف أو ساعتين على أكثر تقدير من من تناول الجلوكوز .

وتسمى هذه التجربة أيضاً بأكلة الجلوكوز الاختبارية (glucose test meal)

ويبين شكل (٤٤) الرسم البيانى لتحمل السكر بالجسم لشخصين عاديين.

أنواع الجلوكوزوريا

١ — **الجلوكوزوريا الهضمية** (Alimentary glucosuria) : إذا تناول شخص كمية كبيرة من الجلوكوز مرة واحدة (أكثر من ٢٠٠ جم) فقد تزيد سرعة امتصاص السكر من الأمعاء إلى الدم عن سرعة استعماله بأنسجة الجسم ؛ وبذلك تزيد كمية السكر فى الدم فوق الحد الأدنى الكلوى ؛ وعند ذلك يظهر السكر بالبول — وليس من السهل حدوث الجلوكوزوريا الهضمية إذ أن هذه الكميات الكبيرة من الجلوكوز تحدث تهوعا وتدعو إلى القىء . وفضلا عن ذلك فان للجسم فى الأحوال العادية مقدرة كبيرة على استعمال الجلوكوز بمجرد امتصاصه إلى الدم . وإذا أخذت كميات كبيرة من مائيات

(١) فى بعض الحالات يدعو إعطاء الجلوكوز إلى افراز كثير من الانسولين من البنكرياس ويؤدى ذلك إلى هبوط السكر بالدم تحت مستوى الصائم .

الكربون على شكل نشاء أو مايماثله فان عمليـة الهضم بما تحتاجه من وقت تقلل من سرعة الامتصاص وبذا لاتزيد كميـة السكر فى الدم فوق الحد الأدنى الكلوى .

٢ — **الجلوكوزوريا الكلوية** (Renal glucosuria) : يكون الحد الأدنى الكلوى فى حالات غير عادية أقل من الطبيعى ، أى أن الكلى تسمح بمرور السكر بالبول مع أنه لا يوجد فى الدم بكمية أكبر من ١٨ر٠ من الجرام من الجلوكوز . ويمكن تمييز هذه الحالات من مرض البول السكرى بسهولة بوساطة الرسم البيانى لتحمل السكر بالجسم . فى هؤلاء الأشخاص تكون نسبة السكر بالدم وقت الصيام عادية . وترتفع بعد أخذ الجلوكوز إلى نسب أقل مما ترتفع به عند الرجل العادى ؛ إذ أنه فضلا عن استعمال الجلوكوز بالجسم فإنه يفرز أيضاً بالبول ويكون انخفاض الكمية ثانيـة إلى مستوى الصيام سريعاً ، أى أن الرسم البيانى لتحمل السكر بالجسم فى هذه الحالات يكون منخفضاً عنه فى الحالات العادية ، ومع ذلك يظهر الجلوكوز بالبول بعد إعطائه . وهذه الحالات غير ضارة ولا تستدعى أى علاج . ولذلك يجب العناية بتشخيصها وعدم خلطها بمرض البول السكرى .

٣ — **جلوكوزوريا الانفعالات النفسية** (Psychic glucosuria): فى حالات الانفعالات النفسية الشديدة — من ألم أو فرح أو حزن أو مفاجآت أو غيرها — تمر إشارات فى معظم الأعصـــاب السمپاثوية بالجسم ؛ وتدعو الإشارات التى تمر إلى الغدة فوق الكلية إلى إفراز الأدرينالين . ويؤثر الأدرينالين فى الكبد فيؤدى إلى تحويل الجليكوچين الذى بها إلى جلوكوز يمر بالدم ، وبذا تزداد نسبة الجلوكوز بالدم فوق الحد الكلوى الأدنى . ويظهر السكر بالبول ظهوراً وقتياً . وقد وجد السكر بالبول لهذه الأسباب فى كثير من الطلبة عند تأديتهم للامتحانات الشفوية ، وعند الرياضيين قبل المباريات المهمة ، وفى الأحوال المماثلة . وكذلك يظهر السكر فى البول نتيجة

لإفراز الأدرينالين فى كثرة فى حالات البنج (Anaesthesia) وفى حالات الاختناق (Asphyxia) .

وأول من كشف أن للجهاز العصبي تأثيراً فى التمثيل الغذائى لمائيات الكربون وفى نسبة السكر فى الدم هو كلود برنارد (Claude Bernard) — الذى وضع الأساس الأول لكل معلوماتنا عن التمثيل الغذائى لمائيات الكربون — فقد كشف أن إتلاف قاع البطين الرابع فى الأرانب يؤدى إلى ظهور السكر بالبول ؛ وذلك لأن عملية الإتلاف تنبه مراكز عصبية سمپاثوية وتؤدى إلى مرور إشارات عصبية إلى الغدة فوق الكلية وتسبب إفراز الأدرينالين . والأدرينالين يحول جليكوچين الكبد إلى سكر فى الدم . وكذلك تمر إشارات عصبية فى الأعصاب السمپاثوية إلى الكبد مباشرة ، وتدعو أيضاً إلى نفس النتيجة . ولا يسبب إتلاف قاع البطين الرابع الجلوكوزوريا إذا قطع العصبان الحشويان قبل عملية الإتلاف . ويستدل على ذلك أن بقاع البطين الرابع فى قنطرة فارول (Pons) مركز عصبي يؤثر على نسبة السكر فى الدم . ويمكن تنبيه هذا المركز العصبي بإرسال إشارات إليه فى العصب الرئوى المعدى أو فى أعصاب واردة أخرى .

وهناك عدة أدلة على وجود مراكز عصبية أعلى من قنطرة فارول لها نفس العمل . فقد وجد فى القطط — ولكن ليس فى الأرانب — أن إتلاف المخ الأوسط (mid brain) يتبعه ارتفاع فى سكر الدم وظهور السكر بالبول . ومما ثبت أخيراً أن الهيپوثالامس مركز عام للجهاز العصبي السمپاثوى . وأن هذا المركز يزداد نشاطه فى الانفعالات النفسية السابق ذكرها ومنه تخرج الاشارات فى كل الأعصاب السمپاثوية بما فيها تلك التى تجهز الغدتين فوق الكلية والتى تجهز الكبد . وتصل هذا المركز باستمرار إشارات رادعة من القشرة السنجابية للمخ (Cerebral cortex) فتقلل هذه الاشارات من عمله وتحد من نشاطه . وعند إتلاف القشرة السنجابية للمخ يزداد عمل هذا المركز

وينتج عن ذلك أيضـــاً إفراز الأدرينالين وارتفاع فى سكر الدم وظهور السكر بالبول .

وقد يسبب تنبيه هذه المراكز العصبية ارتفاعا فى سكر الدم ، وظهور السكر بالبول حتى فى حالة الصيام حينما تكون الكبد خالية أو بها قليل جداً من الجليكوچين المخزون . ففى بعض حالات إتلاف قاع البطين الرابع فى الحيوان الصائم قد تزداد كمية الجليكوچين بالكبد ولا تقل ، ويستدل على ذلك بأن إتلاف قاع البطين الرابع يؤدى إلى عاملين :

ا — تحويل جليكوچين الكبد إلى سكر فى الدم .

ب — زيادة صناعة جليكوچين الكبد وسكر الدم من مصادر أخرى غير مائيات الكربون كالأحماض الأمينية .

٤ — ***جلوكوزوريا الفلوردزين*** (Phlorrhizin glucosuria) الفلوردزين مادة قلوية من نوع الجلوكوسيد تستخرج من جذور شجر التفاح . وإذا حقنت بجسم الحيوان أدت إلى ظهور الجلوكوز بالبول . وليس للجلوكوز الموجود بهذه المادة أى دخل فى ظهور السكر بالبول إذ أن حقن مشتقها الخالى من الجلوكوز — المسمى فلوريتون (Phloretone) — يسبب أيضاً ظهور السكر بالبول . ويظهر السكر بالبول فى هذه الحالة مع أن كميته فى الدم تكون أقل من الحد الكلوى الأدنى الطبيعى ، بل أقل من مستوى السكر وقت الصيام . وتمحو هذه المادة الحد الكلوى الأدنى كلية فيظهر السكر فى البول ما دام موجوداً بأى نسبة فى الدم . والسبب فى ذلك أن السكر يترشح من غلاف باومان (Bauman's capsule) ثم يمتص ثانية فى الأحوال الطبيعية بوساطة الأنابيب الكلوية (أنظر باب الكلى ، الجزء الثانى) ، وتمتص الأنابيب الكلوية السكر على شكل فوسفات الجلوكوز . وتقوم الخميرة فوسفاتيز (Phosphatase) بتحويل السكر إلى فوسفات الجلوكوز . ويؤثر الفلوردزين على هذه

الخميرة فيمنعها من أداء وظيفتها فلا يمتص السكر إلى الدم ثانية بل يخرج بالبول.

ويفرز السكر بالبول بعد حقن الفلوردزين حتى فى حالة صيام الحيوان؛ وتكون نسبة $\frac{\text{السكر}}{\text{الازوت}}$ ($\frac{\text{glucose}}{\text{Nitrogen}}$ or $\frac{G}{N}$ or $\frac{D}{N}$ ratio) فى البول فى الحيوان الصائم المحقون بالفلوردزين ثابتة مما يدل على أن كلا من الجلوكوز والأزوت آت من مصدر واحد، وهو بروتين الجسم إذ أنه المصدر الوحيد الذى يحتوى على الأزوت. ويقدر لسك (Lusk) هذه النسبة بمقدار ٣,٦٥ . ويستنتج من ذلك أن ٥٨ ٪ من جزىء البروتين يمكن تحويله بالجسم إلى جلوكوز كما يأتى:

كل جرام أزوت بالبول يصحبه إخراج ٣,٦٥ من الجرام من الجلوكوز.

∴ كل ٦,٢٥ من الجرام من البروتين يصحبه إخراج ٣,٦٥ ٪ من الجرام من الجلوكوز.

∴ كل ١٠٠ جرام من البروتين يصحبها إخراج ٥٨ جراما من الجلوكوز.

وباستعمال الحيوان الصائم المحقون بالفلوردزين ، أمكن معرفة أى أنواع الطعام يتحول بالجسم إلى جلوكوز وأيها غير قابل لهذا التحويل. فاذا أعطى هذا الحيوان بروتينا فقط بقيت النسبة ثابتة مما يدل على أن بروتين الطعام ، كبروتين الجسم ، قابل لهذا التحويل وإذا أعطى الحيوان أحماضاً دهنية فمع أنها خالية من الأزوت إلا أنها لا تؤثر بأى حال فى نسبة السكر بالبول، مما يدل على عدم تحويل الأحماض الدهنية إلى جلوكوز بالجسم. وقد سبق أن أشرنا إلى أن بعض الأحماض الأمينية يتحول إلى جلوكوز بالجسم وبعضها لا يمكن تحويله (ص ١٩٨). وقد عرف ذلك بهـــذه الطريقة. ويفرز كل السكر الذى يؤخذ بالطعام بالبول حتى أن لسك يدعى أنه من الممكن تحليل كمية مائيات الكربون الموجودة فى الطعام بوساطة

الحيوان الصائم المحقون بالفلوردزين ، وذلك بملاحظة كمية الجلوكوز التى تزيد بالبول بعد إعطاء الطعام .

وإذا استمر حقن الحيوان بالفلوردزين أصابته أعراض مماثلة لتلك التى تظهر عند استئصال البنكرياس .

٥ — **جلوكوزوريا البنكرياس** (Pancreatic glucosuria) : يحدث هذا النوع فى الحيوان إذا استؤصلت غدة البنكرياس منه . ويحدث فى الانسان عند مرض هذه الغدة ويسمى المرض فى الانسان مرض الديابيتس أو البول السكرى (Diabetis mellitus) .

للبنكرياس وظيفتان ؛ الأولى وهى إفراز العصير الهضمى بوساطة حويصلات البنكرياس وقد سبق الكلام عنها (ص ٨٤) . والثانية هى إفراز الهرمون إنسولين بوساطة جزر لانجرهانز (Islets of Langerhan's) (شكل ٢١) .

وهناك نوعان من الخلايا التى يمكن صبغها بجزر لانجرهانز وتسمى الخلايا ا والخلايا ب (α and β cells). وتستعمل المحاليل الكحولية لتثبيت الخلايا الأولى للقطاعات الميكروسكوبية إذ أن الحبوب التى بها تذوب فى الماء . فى حين تستعمل المحاليل المائية لتثبيت الخلايا الثانية إذ أن الحبوب التى بها تذوب فى الكحول . وهناك عدة أدلة على أن الخلايا (ب) هى التى تفرز الإنسولين .

ويؤثر الإنسولين تأثيراً عظيما فى التمثيل الغذائى لمائيات الكربون ، وبطريق غير مباشر يؤثر على التمثيل الغذائى للبروتين والدهن أيضا .

ووظائف الإنسولين هى :

أولا — ينبه أكسدة السكر بالأنسجة . كان لسك من أكبر مؤيدى نظرية أن جسم الحيوان المريض بالبول السكرى لا يمكنه أن يؤكسد الجلوكوز بتاتا . وكانت أدلته على ذلك انخفاض معامل التنفس وثبوت نسبة $\frac{\text{الجلوكوز}}{\text{الازوت}}$

وعدم تأثرها ببروتين الطعـام وإفراز كل ما يؤكل من الجلوكوز بالبول بحيث يظهر أنه بلا فائدة للجسم . ولـكن ثبوت نسبة الجلوكوز/الازوت قد أصبح موضع خلاف كبير ، وقيمة النسبة فى الحيوان المريض بالبول السكرى تختلف كثيراً عن تلك التى وجدها لسك فى الحيوان الصائم المحقون بالفلوردزين . وقد قدرت نسبة الجلوكوز/الازوت للـكبد وحدها بعد استئصالها من الحيوان وإمرار دما بها خارج الجسم (Perfusion experiments) ووجدت النسبة بين ٥ و ٧ وهذه التجارب الأخيرة تدل — إن صحت — على أن بعض الجلوكوز الذى تـكونه الـكبد يتأكسد بالجسم كما تدل هذه النسب الـكبيرة على أن الـكبد تصنع الجلوكوز من مصادر أخرى غير البروتين . وبطبيعة الحال يكون هذا المصدر هو الدهن .

وإن تحولت مقـادير كبيرة من البروتين والدهن بالجسم إلى جلوكوز وجب أن يكون معامل التنفس أقل من ٠,٧ فى حالة عدم أكسدة الجلوكوز ، ولـكن قيمة معامل التنفس فى المريض بالبول السكرى هى ٠,٧ تقريبا مما يدل أيضا على أكسدة الجلوكوز بجسمه . وفضلا عن ذلك فقد وجد أن أنسجة الحيوان المستأصل منه البنكرياس يمكنها أن تؤكسد الجلوكوز ولـكن بدرجة أقل من الأنسجة الطبيعية . ويسبب استئصال الـكبد من الحيوان نقص سكر الدم ، ويحدث هذا النقص سواء كان البنكرياس موجوداً أو غير موجود .

تثبت هذه التجارب ، وكثير غيرها ، أن الأنسجة تؤكسد الجلوكوز فى غياب الإنسولين ، ولـكن بدرجة أقل من الأنسجة الطبيعية . فإذا حللنا الدم الشريانى والدم الوريدى لعضو من الأعضـــاء — كالساق مثلا — فإننا نجد أن الفرق بين الدم الشريانى والوريدى فى نســـبة السكر بهما يزداد كثيراً عند إضافة الإنسولين إلى الدم الذى يمر بالعضو وفى الوقت نفسه يزيد معامل التنفس ، مما يدل على زيادة أكسدة مائيات الـكربون بالعضو .

ثانياً — يقلل من تحويل جليكوچين الكبد إلى جلوكوز الدم ، وبذلك يزيد كمية الجليكوچين المخزون بالكبد .

ثالثاً — يقلل من عملية تحويل البروتين إلى جلوكوز الدم .

وإذا ارتفعت كمية السكر بالدم الذى يمر بالبنكرياس أفرز البنكرياس الإنسولين . وبذلك يزيد استعمال السكر بالجسم فتنخفض نسبته بالدم إلى مستواها الطبيعى . ويثبت ذلك ما يأتى :—

١ — إذا حقن محلول مركز من الجلوكوز فى شريان البنكرياس مباشرة نقصت كمية السكر فى دم الحيوان — وذلك لإفراز الإنسولين . ويمكن الاعتراض على هذا الدليل بأن محلول الجلوكوز المركز بعد أن يمر بالبنكرياس يذهب إلى الكبد عن طريق الوريد البابى ويؤثر على الكبد فيمنعها من تحويل الجليكوچين إلى جلوكوز الدم وبذا تنقص نسبة السكر فى الدم بدون أن يقوم البنكرياس بدور فى ذلك . ولكن يقدم ضد هذا الاعتراض أن تجارب مماثلة عملت على بنكرياس مزروع (transplanted) ولا يمر دمه الوريدى إلى الكبد مباشرة وقد أدت هذه التجارب إلى نفس النتيجة السابقة .

٢ — وصل وريد البنكرياس من حيوان بالوريد الودجى من حيوان آخر استؤصلت منه غدة البنكرياس . ووجد أنه إذا زيدت كمية السكر بدم الحيوان الأول أفرز بنكرياسه الإنسولين الذى يمر بالدم إلى الحيوان الثانى فيقلل نسبة السكر بدمه . وأما إذا قلت كمية السكر فى الحيوان الأول ، فان إفراز الإنسولين يمتنع منه وبذا تزيد كميةالسكر فى دم الحيوان الثانى .

٣ — إذا أعطى شخص ٥٠ جراما من الجلوكوز لعمل أكلة الجلوكوز الاختبارية (شكل ٤٤) فان نسبة السكر بالدم ترتفع مبدئياً فى النصف ساعة الأولى ثم تنخفض بعد ذلك إلى حالتها قبل إعطاء الجلوكوز أو إلى أقل من ذلك . وليس السبب فى هذا الانخفاض هو انتهاء الامتصاص من

الأمعاء الدقيقة ، إذ أن هذا الانخفاض لا يحدث فى المريض بالبول السكرى بل تبقى نسبة السكر بالدم عالية بضع ساعات بعد تناول الجلوكوز . وسبب الانخفاض فى الحالات الطبيعية هو أن البنكرياس يتنبه بزيادة السكر فى الدم فيفرز الانسولين الذى ينشط استعمال السكر بأنسجة الجسم . ومما يزيد هذا الرأى تدعيما أنه إذا أعطى نفس الشخص جرعة أخرى من الجلوكوز حينما ينخفض السكر بالدم بعد الجرعة الأولى فان الجرعة الثانية لا تؤدى إلى ارتفاع مبدئى فى سكر الدم كالجرعة الأولى . إذ أن الانسولين الذى تسبب إفرازه من الجرعة الأولى لا يزال موجوداً بالدم .

تثبت هذه التجارب أن خلايا جزر لانجرهانز تتأثر بزيادة السكر بالدم . فتفرز الانسولين عند زيادة السكر . ويقل الافراز عند انخفاضه . هذا وقد وجد أيضاً أن العصب الرئوى المعدى يحرز هذه الخلايا ، وأن زيادة السكر بالدم تنبه مركزه العصبى بالنخاع المستطيل ؛ ولكن يظهر أن هذا التنظيم العصبى لافراز الانسولين قليل الأهمية . وذلك لأن غدة البنكرياس تقوم بعملها على الوجه الأكمل لتنظيم نسبة السكر بالدم حتى بعد قطع أعصاب البنكرياس أو بعد زرع البنكرياس تحت الجلد مثلا ، ما دامت الخلايا حية (subcutaneous grafting of the pancreas)

وإذا امتنع وصول الإنسولين إلى دم الحيوان قلت مقدرة الأنسجة على أكسدة مائيات الكربون وزاد تحويل جليكوجين الكبد إلى جلوكوز الدم وزادت صناعة جلوكوز الدم من البروتين ، فترتفع نسبة السكر بالدم فوق الحد الأدنى الكلوى (hyperglycaemia) ويظهر السكر بالبول ، وقد وجد أن حالات مرض البول السكرى بالانسان مصحوبة بالفساد (degeneration) فى الخلايا التى تكون جزر لانجرهانز وخصوصاً الخلايا (ب) .

ويستعمل المريض بالبول السكرى غذاءه بتبذير شديد ؛ إذ أن معظم مائيات الكربون التى تؤخذ تتحول إلى سكر يفرز بالبول ولا ينتفع الجسم

منه ؛ كما أن جزءاً كبيراً من البروتين يتبع نفس الطريق ، وكثيراً مما تبقى من جزىء البروتين لا يتأكسد بل يكون أحماضاً خلونية . وكذلك فان الأحماض الدهنية لا تتأكسد تأكسداً كاملا إلى ثانى أكسيد كربون وماء بل يقف تأكسدها عند درجة الأجسام الخلونية ، وهى حامض هيدروكسى بيوتيريك وحامض أسيتو أسيتك ؛ إذ أن لأكسدة الأحماض الدهنية أكسدة تامة يجب أن تكون مصحوبة بالجسم بأكسدة مائيات الكربون وذلك لا يحدث بكميات كافية بجسم المريض بالبول السكرى .

وعلى ذلك نرى أن المريض بالبول السكرى له شهية عظيمة ويأكل مقادير كبيرة من الطعام ، ومع ذلك فان وزنه ينقص .

ووجود السكر بالبول يسبب مقاومة أوزموزية (osmotic resistance) لقوة امتصاص الماء بالأنابيب الكلوية من مترشح باومان (Bauman's filterate) ولذلك يزيد حجم البول كثيراً ؛ فقد يكون ثلاثة أو أربعة لترات أو أكثر وينتج عن ذلك سرعة العطش فيتناول المريض كميات كبيرة من الماء وقد تكون نسبة الجلوكوز فى البول من ٥ إلى ١٠ فى المائة ، ولذلك تكون كثافته النوعية عالية — ١٠٣٠ إلى ١٠٤٠ .

وتتعادل الأحماض الخلونية بالدم مع بيكربونات الصوديوم فينقص احتياطى القواعد (alkali reserve) . وتلافياً لزيادة أيونات الايدروچين بالدم زيادة كبيرة يزداد التنفس فيقلل من ضغط ثانى أكسيد الكربون بالحويصلات الرئوية وبالدم الشريانى ؛ فتقل كميات حامض الكربونيك المطلقة بالدم ؛ وهكذا يحفظ تفاعل الدم ولا يتأثر أسه الايدروچينى كثيراً ويساعد على حفظ تفاعل الدم ثابتاً زيادة صناعة الأمونيا وتزداد نسبة الأمونيا فى البول زيادة كبيرة . فاذا لم يعالج المريض بالبول السكرى زاد تركيز أيونات الايدروچين بالدم زيادة كبيرة قد تؤدى إلى الوفاة . وقد

وجد أن الأس الايدروچيني للدم فى بعض حالات الغيبوبة السكرية ينخفض إلى ٦,٩٥ (pH 6.95) وهناك حالة وجد فيها ٦,٨ .

وفضلا عن تأثير الأحماض الخلونية فى تفاعل الدم فان لها تأثيراً ساماً إذ تسبب هبوطاً فى المراكز العصبية. وتدعو إلى الغيبوبة (Diabetic coma) ويكون التنفس صعباً وقد تزداد سرعته (air hunger) . ويمكن التكهن للمريض بالبول السكرى باصابته بالغيبوبة السكرية قبل حدوثها بملاحظة نقص كبير فى الأس الايدروجينى للدم أو فى احتياطى القواعد أو فى ضغط ثانى أكسيد الكربون بالحويصلات الهوائية أوفى معامل التنفس أو زيادة كبيرة فى إخراج الأحماض الخلونية أو الأمونيا بالبول .

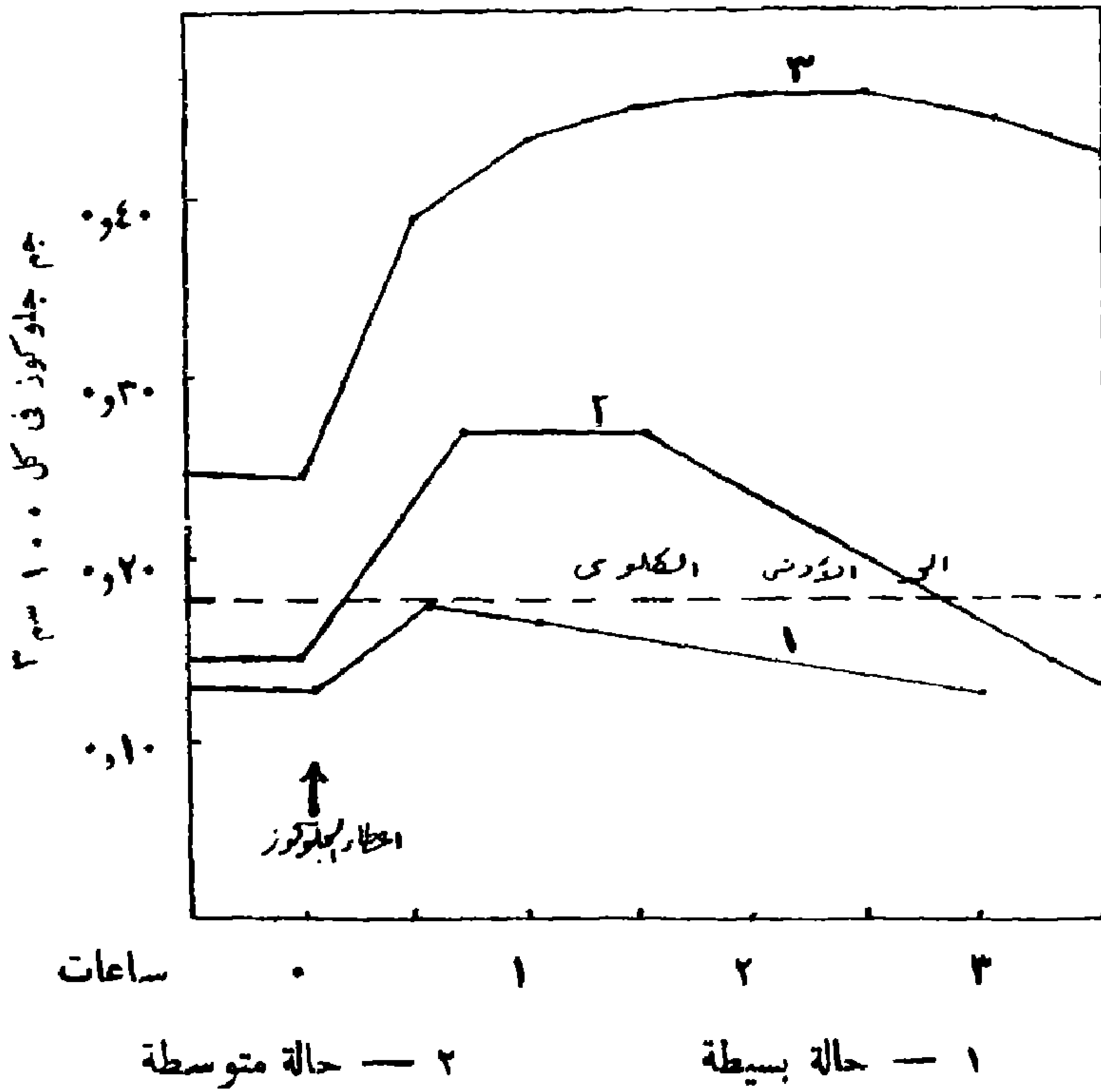
وبوساطة أكلة الجلوكوز الاختبارية وعمل الرسم البيانى لقدرة تحمل الجسم للسكر يمكن معرفة شدة المرض كما يأتى :

أولا — حالات بسيطة (شكل ٤٥ — ١) تكون كمية السكر قبل الجلوكوز أقل من الحد الأدنى الكلوى ، وكذلك لا تزيد بعد إعطاء الجلوكوز عن هذا الحد ، فلا يظهر الجلوكوز بالبول مطلقاً . ولكن الفرق بين هذه الحالات البسيطة والرسم البيانى للرجل العادى أن كمية السكر فى الدم لا ترجع إلى مستوى الصيام بعد أخذ الجلوكوز إلا فى مدة أكثر من ساعتين أى أن مرعة استعمال الجلوكوز بالجسم أقل من الطبيعى .

ثانياً — حالات متوسطة (شكل ٤٥ — ٢) تكون كمية السكر بالدم وقت الصيام أقل من الحد الأدنى الكلوى فلا يظهر السكر بالبول وقت الصيام ، ولكن بعد تناول الجلوكوز ترتفع الكمية فوق الحد الأدنى الكلوى ، فيظهر الجلوكوز بالبول ويكون هبوط كمية السكر بالدم إلى مستوى الصيام بطيئاً ، أى فى مدة تزيد عن ساعتين بعد تناول الجلوكوز .

ثالثاً — حالات متقدمة (شكل ٤٥ — ٣) تكون كمية السكر بالدم وقت الصيام أعلى من الحد الأدنى الكلوى ، وعلى ذلك يوجد السكر بالبول

باستمرار ، وترتفع كميته بعد إعطاء الجلوكوز إلى درجة عالية (٠٫٤ — ٠٫٥ من الجرام أو أكثر فى كل مائة سنتيمتر مكعب من الدم) وتهبط كمية



١ — حالة بسيطة ٢ — حالة متوسطة

٣ — حالة متقدمة

(شكل ٤٥)

الجلوكوز بالدم إلى مستوى الصيام ببطء شديد أى فى مدة أربع ساعات أو أكثر ، وذلك لأن الطريقة الوحيدة الباقية لخروج السكر من الدم هى إفرازه بالبول ، إذ أنه لايتأكسد بالأنسجة ولا يتحول إلى جليكوچين .

تأثير اعطاء الانسولين للمريض بالبول السكرى : ليس للإنسولين أى فائدة إذا أعطى عن طريق الفم ، إذ أنه يتكسر بواسطة الخمائر الهضمية . ويجب حقنه تحت الجلد لكى يكون له التأثير المطلوب . فإذا حقن بمقادير مناسبة ، وفى أوقات معينة ، أرجع حالة المريض فى معظم الحالات إلى الحالة الطبيعية تماماً ؛ أى أنه ينقص كمية السكر بالدم ، فيختفى السكر من البول ، وتزيد مقدرة الخلايا على أكسدة السكر ، فيزيد معامل التنفس ، وتستطيع الكبد أن

تخزن الجليكوچين، فتزيد كميته بها ، ويقل تحويل البروتين إلى جلوكوز ، وتتأكسد الأحماض الدهنية إلى درجتها النهائية، أي إلى ثانى أكسيد كربون وماء، فتختفى الأحماض الخلونية من الدم، ويرتفع احتياطى القواعد وضغط ثانى أكسيد الكربون بالحويصلات الهوائية الرئوية وبالدم الشريانى .

ولما كان الانسولين لا يبقى بالجسم طويلا فانه يجب استمرار الحقن مرتين على الأقل يومياً . ولما فى ذلك من صعوبة على المريض قد اكتشف حديثاً مركب من الانسولين يسمى پروتامين إنسولين (Protamine Insulin) يبقى تأثيره بالجسم لمدد أطول ، ويكفى حقنه مرة كل يوم لعلاج مرض البول السكرى .

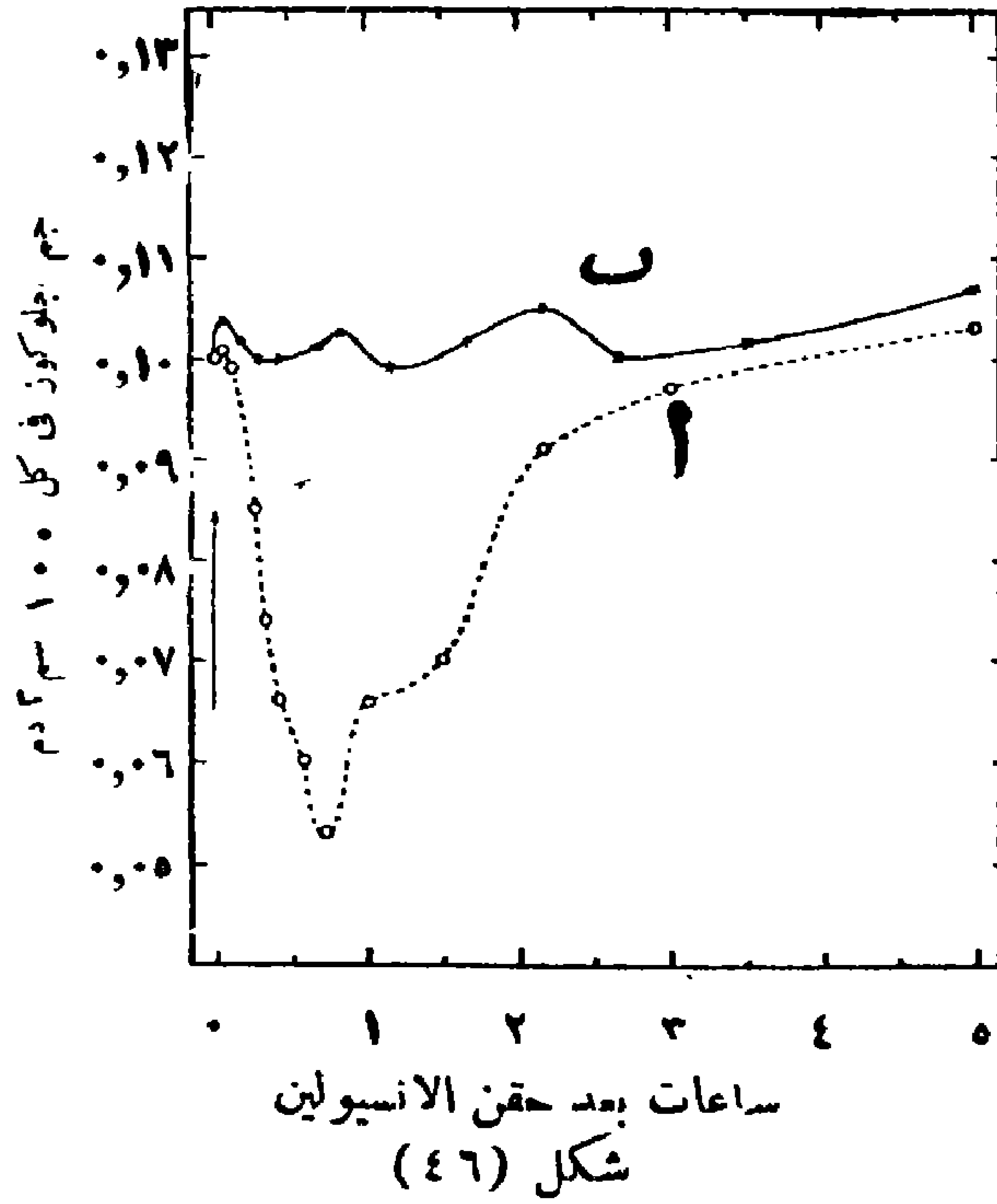
العلاقة بين الفص الأمامى للغدة النخامية والبنكرياس

وجدهوساى (Houssay) وكثير بعده من العلماء أن هناك علاقة كبيرة بين الفص الأمامى للغدة النخامية والتمثيل الغذائى لمائيات الكربون .

(١) إذا أستؤصلت الغدة النخامية من حيوان استؤصل منه البنكرياس قبل ذلك انخفضت نسبة السكر بالدم وقد تقل إلى مدى المستوى الطبيعى . ويقل أو يختفى السكر من البول ولا تتراكم الأحماض الخلونية فيعيش الحيوان مدة أطول . وقد يرتفع معامل التنفس بعد أكلة من مائيات الكربون . وهذا لا يحدث فى الحيوان الذى يستأصل منه البنكرياس فقط . وتكون كمية جليكوچين الكبد طبيعية ولكن قد يحدث الصيام انخفاضاً فى سكر الدم . وإذا عولج الحيوان بمستخرج الفص الأمامى للغدة النخامية ظهرت أعراض نقص الانسولين مرة أخرى .

(٢) وإذا حقن مستخرج الفص الأمامى للغدة النخامية فى حيوانات طبيعية سببت ارتفاعا فى سكر الدم . وقت الصيام وظهر السكر بالبول وكان شكل الرسم البيانى لقدرة تحمل الجسم بالسكر مماثلا للرسم فى حالة مرض

البول السكرى . ولا يرتفع معامل التنفس بعد أكلة من مائيات الكربون وتزيد كمية الدهن بالدم وتتراكم الأحماض الخلونية . وتشابه هذه الأعراض تماماً أعراض مرض البول السكرى . ولذلك أطلق على مستخرج الفص الأمامى للغدة النخامية الذى يسبب هذه الأعراض اسم الهرمون المولد للبول السكرى (diabetogenic hormome) . وعند حقنه تقل حساسية الجسم للانسولين . فلا يحدث الانسولين انخفاضاً فى سكر الدم إلا إذا أعطى بمقادير كبيرة جداً عن المقادير العادية (شكل ٤٦) . وتزيد حساسية الجسم للادرينالين فتحدث نفس الجرعة ارتفاعاً فى سكر الدم أكثر منها عندما تحقن بدون مستخرج الفص الأمامى للغدة النخامية (شكل ٤٧) .



شكل (٤٦)

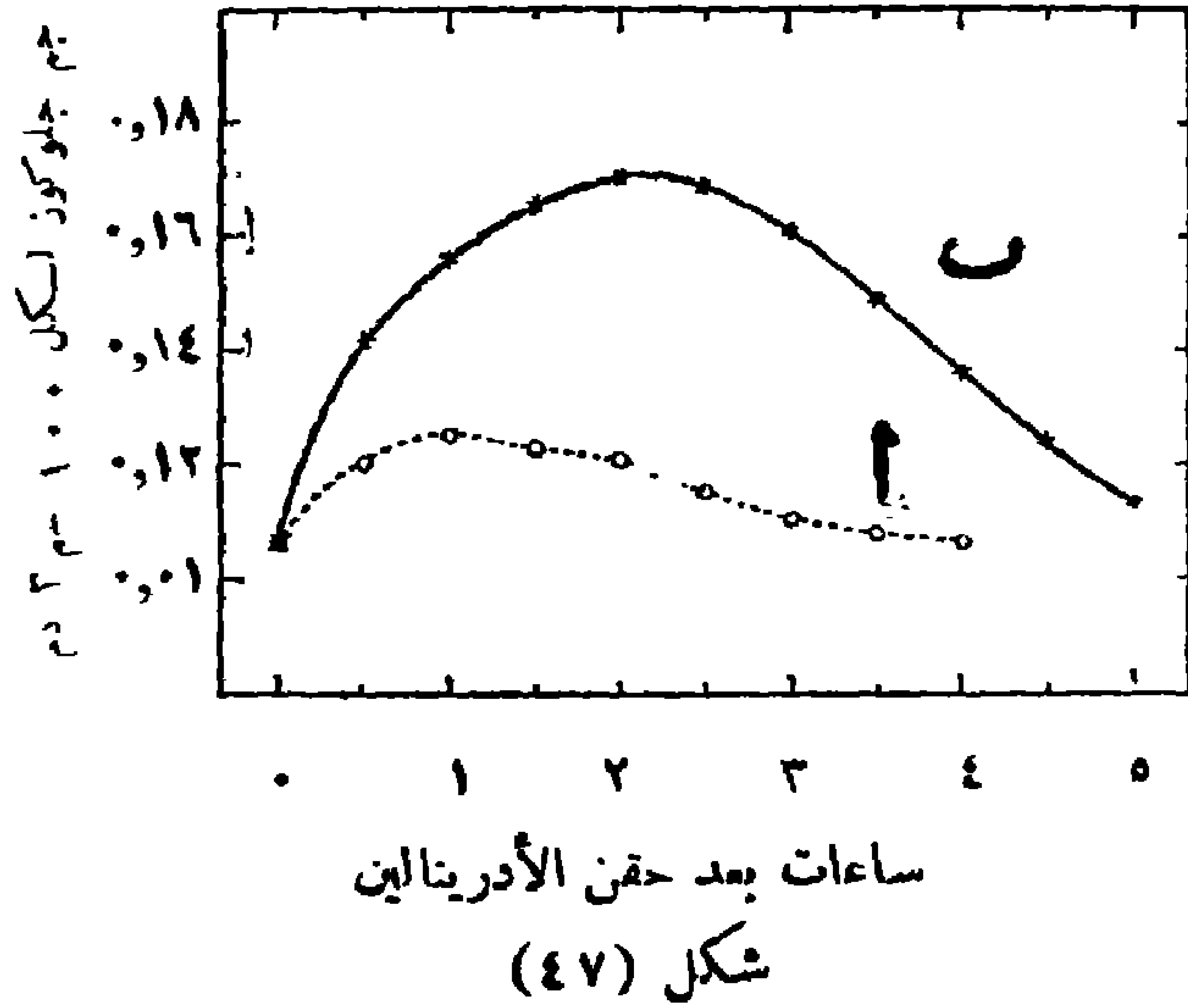
ا — حيوان عادى

ب — حيوان حقن قبل ذلك بمستخرج الفص الأمامى للغدة النخامية . (يونج)

(٣) إذا استؤصلت الغدة النخامية من حيوان طبيعى كان معامل التنفس عالياً وقت الصيام مما يدل على زيادة أكسدة مائيات الكربون . وتحدث أعراض انخفاض السكر بالدم أى أنه تختل مقدرة الجسم على تنظيم

نسبة سكر الدم وقت الصيام. وتزيد حساسية الجسم كثيراً للانسولين وتقل الحساسية كثيراً بالأدرينالين.

قد أدت هذه التجارب إلى الاعتقاد بأن مرض البول السكرى قد لا يتسبب فى كل الحالات من عدم إفراز الأنسولين. وقد ينتج من زيادة إفراز الغدة النخامية. فقد تمكن يونج (Young) من الحصول على أعراض مرض البول السكرى بصفة دائمة بوساطة الحقن المتكرر (لمدة مؤقتة) بخلاصة الفص الأمامى للغدة النخامية. وقد وجد أن ذلك يؤدى إلى فساد فى جزر لانجرهانز بالبنكرياس. وقد يفسر ذلك أن حالات كثيرة من مرض البول



شكل (٤٧)

ا — حيوان عادى

ب — حيوان حقن قبل ذلك بمستخرج الفص الأمامى للغدة النخامية (يونج)

السكرى بالانسان لا تستفيد من العلاج بالانسولين كما هى العادة. وربما كانت هذه الحالات مسببة من زيادة عمل الفص الأمامى للغدة النخامية.

ولو أنه من المؤكد أن هذه الغدة لها أهمية كبيرة فى التمثيل الغذائى لمائيات الكربون إلا أننا الآن لسنا فى موقف يمكننا أن نجزم من كيفية عمل هذه الغدة. وقد يكون لها تأثير ضد تأثير الإنسولين على خط مستقيم أى أنها

١ — تقلل من أكسدة مائيات الكربون بالأنسجة.

٢ — تزيد تحويل جليكوچين الكبد إلى جلوكوز.

٣ — تنبه تحويل البروتين إلى جلوكوز .

وربما كان أكبر تأثير للهرمون المولد للبول السكرى عن طريق الكبد . إذ أن هوساى كشف أن وجود الكبد أساسى لحدوث تأثيرهذا الهرمون ؛ فلا يؤثر الهرمون إذا استؤصلت الكبد قبل حقنه . كما أن هناك رأيا بأن هذا الهرمون يؤثر على المراكز العصبية الموجودة بجذع المخ وأنه يعمل عن طريق الأعصاب السمباثوية إلى الكبد وإلى نخاع الغدة فوق الكلية . ولا يظهر تأثير هذا الهرمون إلا بعد عدة ساعات من حقنه مما يدل على أن تأثيره غير مباشر بل هناك خطوات متوسطة تحتاج إلى ذلك الوقت .

وقد تراكمت حديثاً عدة أدلة على أن بعض عمل الفص الأمامى للغدة النخامية قد يكون عن طريق قشرة الغدة فوق الكلية . فقد استأصل لونج (Long) جزءاً كبيراً من البنكرياس فى الفيران أعقبه ظهور السكر بالبول ووجد ما يأتى :

(١) إذا استؤصلت من هذه الحيوانات الغدتان فوق الكلية أو الغدة النخامية اختفى السكر من البول .

(٢) إذا استؤصل نخاع الغدتين فوق الكلية فقط اختفت الجلوكوزوريا مؤقتا ولكنها تعود ثانية . فإذا استؤصلت قشرة الغدتين بعد ذلك اختفت الجلوكوزوريا .

(٣) لا يؤدى حقن مستخرج الغدة النخامية فى الفيران إلى ظهور الجلوكوزوريا ثانية بعد اختفائه نتيجة استئصال الغدتين فوق الكلية ولكن إذا زرعت قشرة الغدة فوق الكلية فى هذه الحيوانات مرة أخرى ظهرت الجلوكوزوريا .

وتثبت هذه التجارب أن الفص الأمامى للغدة النخامية قد يؤثر على التمثيل الغذائى لمائيات الكربون عن طريق قشرة الغدة فوق الكلية . ولكن لا يعنى ذلك أن هذا هو الطريق الوحيد لعمل الغدة النخامية . وقد تكون

هذه التجارب خاصة بالفيران فقط إذ قد وجد فى حيوانات أخرى أن الهرمون المولد للبول السكرى يعمل فى غياب الغدتين فوق الكلية كما وجد أيضاً فى الكلاب أن حقن هرمون الغدة النخامية الذى ينبه الغدة فوق الكلية (adrenotropic) لا يدعو إلى ظهور أعراض مرض البول السكرى .

نرى مما تقدم أن التمثيل الغذائى لمائيات الكربون ينظم بالجسم بوساطة عدة عوامل معقدة وبعضها إن لم يكن معظمها غير معروف تماما وقد رأينا أن نقدم مختصراً يساعد الطالب على تتبع هذه العوامل .

مختصر لتنظيم نسبة السكر فى الدم : رأينا فيما سبق أن نسبة السكر بالدم تتراوح بين ٠,٠٨ من الجرام فى كل ١٠٠ سم^{٣} على أقل تقدير وقت الصيام ، وبين ٠,١٨ من الجرام فى كل ١٠٠ سم^{٣} على أكثر تقدير وقت الامتصاص . وهناك عدة عوامل تنظم كمية السكر بالدم بين هذين الحدين وتوازن بين ما تأخذه الأنسجة من سكر الدم ، وبين مايرد إلى الدم من السكر عن طريق الكبد وعن طريق الامتصاص من الأمعاء الدقيقة . وأهم هذه العوامل ما يأتى : —

١ — المعدة : يبدأ التنظيم فى المعدة ، إذ لو تعاطى الشخص مقادير كبيرة من الجلوكوز دفعة واحدة سببت التهوع والقىء . وفضلا عن ذلك فانه إذا كانت محتويات المعدة مركزة وضغطها الأوزموزى عالياً ، كان تفريغ محتويات المعدة إلى الاثنى عشر بطيئاً . ولا يحدث امتصاص الجلوكوز من المعدة إلا قليلا جداً .

٢ — الأمعاء الدقيقة : وجد أن سرعة امتصاص الجلوكوز من الأمعاء الدقيقة ثابتة ولا تتوقف كثيراً على كمية الجلوكوز التى تؤخذ . وكلما زادت الكمية زاد وقت الامتصاص ، فى حين لا تتغير سرعة الامتصاص . وفضلا عن ذلك فقد وجد أن سرعة امتصاص الجلوكوز من الأمعاء الدقيقة تختلف من حيوان إلى آخر ولكنها فى كل حيوان تناظر أعظم سرعة يمكن أن يحقن بها الجلوكوز فى الوريد دون أن يسبب ظهور السكر بالبول . فمثلا وجد أن سرعة امتصاص الجلوكوز فى الفأر (rat) تساوى ٢,٢ جم لكل كيلوجرام من وزن الجسم فى الساعة ، والسرعة فى الكلب تساوى ٠,٩ جم لكل كيلو جرام من وزن الجسم فى الساعة . وقد وجد أن أكبر كمية يمكن أن تحقن فى الوريد فى الفأر بدون ظهور سكر بالبول هى ٢,٢ جم لكل كيلوجرام

فى الساعة . وأن أكبر كمية يمكن أن تحقن فى الوريد فى الكلب هى ٠,٩ جم لكل كيلو جرام فى الساعة .

٣ — الكبد : الكبد مخزن للجليكوچين . تزيد كمية الجليكوچين بها وقت الامتصاص وتمنع سكر الدم من أن يرتفع ارتفاعا كبيراً . وفيما بعد الامتصاص تعطى سكر إلى الدم باستمرار وتمنع انخفاض سكر الدم نتيجة استعماله بالأنسجة . وفى الصيام المستمر تحول البروتين ومصادر أخرى إلى سكر الدم . ولو استؤصلت الكبد يموت الحيوان سريعاً من انخفاض سكر الدم

٤ — البنكرياس : تفرز جزر لانجرهانز الانسولين . وينشط هذا الهرمون أكسدة مائيات الكربون وخزن الجليكوچين بالكبد والعضلات . ويردع تحويل جليكوچين الكبد وتحويل البروتين والمصادر الأخرى إلى سكر الدم . وينبه ارتفاع سكر الدم البنكرياس ليفرز الانسولين وبذا يزداد استعمال السكر بوساطة الأنسجة . ويقل ورود السكر إلى الدم من الكبد ، فتنخفض نسبة سكر الدم إلى حالتها الطبيعية

وهناك عدة هرمونات تأثيرها الاجمالى ضد تأثير الانسولين ولو أن كيفية عمل كثير منها غير معروفة تماماً . وهذه الهرمونات هى . الأدرينالين والهرمون المولد للبول السكرى والبتيوترين والثيروكسين والكورتين .

٥ — الغدة فوق الكلية والمراكز العصبية : يفرز نخاع الغدة فوق الكلية الهرمون أدرينالين . وهو ينبه تحويل جليكوچين الكبد إلى سكر الدم وينبه تحويل جليكوچين العضلات إلى حامض اللبنيك الذى يتحول إلى سكر الدم عن طريق الكبد (حلقة كورى) . وعليه يسبب الأدرينالين ارتفاع سكر الدم . فاذا انخفض سكر الدم — نتيجة زيادة إفراز الانسولين مثلا — تنبهت مراكز عصبية موجودة فى الهيبوثالامس وفى قنطرة فارول وأرسلت إشارات عن طريق الأعصاب السمباثوية إلى الغدة فوق الكلية [١] فيفرز الأدرينالين وهكذا يرتفع سكر الدم . كما وأن هذه المراكز العصبية تزيد إفراز الأدرينالين كلما كان الجسم فى حاجة إلى استعمال كميات كبيرة من الوقود كحالة المجهود الرياضى والتعرض للبرد وغيرهما .

٦ — الفص الأمامى للغدة النخامية : وله عدة علاقات بتنظيم سكر الدم ولكنها

---

(١) وإلى الكبد مباشرة فتحول الجليكوچين إلى سكر الدم .

غير واضحة للآن تماماً . فهو يفرز الهرمون المولد للبول السكرى . ويحول هذا الهرمون جليكوچين الكبد إلى سكر الدم وينشط تحويل البروتين إلى سكر الدم . وقد يقلل أكسدة مائيات الكربون بالأنسجة وبذا يقاوم عمله عمل الانسولين . وكذلك تفرز هذه الغدة هرمونات أخرى تنبه البنكرياس ليفرز الأنسولين ونخاع الغدة فوق الكلية لتفرز الأدرينالين والغدة الدرقية لتفرز الثيروكسين وقشرة الغدة فوق الكلية لتفرز الكورتين .

٧ — الفص الخلفي للغدة النخامية : ويفرز البِتيوترين (pituitrine) الذى يقلل من تأثير الإنسولين بالجسم .

٨ — الغدة الدرقية : وتفرز الثيروكسين . وهو ينبه التمثيل الغذائى الكلى للأنسجة . ويزيد أكسدة مائيات الكربون . وينشط الثيروكسين تحويل جليكوچين الكبد إلى سكر الدم . وحالات زيادة عمل هذه الغدة مصحوبة بارتفاع فى سكر الدم وظهور السكر بالبول . وإذا استؤصلت الغدة الدرقية من حيوان كان أكثر حساسية لتأثير الانسولين . وإذا استؤصل جزء منها فى مريض بالبول السكرى قلت كميات الإنسولين التى يحتاج إليها فى العلاج .

٩ — قشرة الغدة فوق الكلية : وتفرز الهرمون كورتين . وله علاقة غير واضحة بالتمثيل الغذائى لمائيات الكربون . ويصحب قلة إفرازه انخفاض فى سكر الدم

١٠ — الكلى : إذا زادت نسبة السكر فى الدم عن الحد الأدنى الكلوى خرج السكر بالبول وبذا يمتنع ارتفاع سكر الدم ارتفاعا كبيراً .

١١ — الفيتامينات : الفيتامين ب أساسى لأكسدة حامض بيروفيك — على الأقل فى النسيج العصبى . ويظهر أيضاً أنه أساسى لتحويل مائيات الكربون إلى دهن بالجسم . والفيتامين ج يساعد عمليات أكسدة كثيرة بالجسم .

ويبين الشكل التخطيطى الآتى مصادر سكر الدم وطرق استعماله وأهم العوامل التى تنظم نسبته .

شكل (٤٨)

يبين مصادر سكر الدم وطرق استعماله وأهم العوامل التي تنظم نسبته . ومنعاً للتعقيد لم توضع أسهم تدل على أمكان حدوث بعض التحويلات في جهة وعكسها كما هي الحالة في جليكوجين الكبد $\rightleftharpoons$ سكر الدم . كما أنه لم توضع عوامل أخرى كثيرة من الآن مرّ ذكرها

الباب العشرون

التمثيل الغذائى للدهنيات

Fat Metabolism

امتصاص الدهنيات : يمتص الدهن على هيئة أحماض دهنية وجليسرين ولا يمتص — كما كان يظن أولا — على هيئة صابون . وذلك لأنه كى تتحول الأحماض الدهنية إلى صابون يجب أن يكون تفاعل محتويات الأمعاء قاعدى حول الأس الايدروجينى ٩ (p H 9) ، فى حين أن تفاعل محتويات الأمعاء متعادل أو يميل قليلا إلى الحموضة .

ويبدأ امتصاص الدهن فى الاثنى عشر ويستمر فى باقى الأمعاء الدقيقة وحينما تصل المحتويات إلى الأمعاء الغليظة يكون ٩٥ ٪ من الدهن على الأقل قد امتص .

وتوجد عدة عوامل مهمة لامتصاص الدهن وهى :

١ — يجب أن يهضم الدهن أولا إلى أحماض دهنية وجليسرين كى يمتص وأهم الخمائر التى تهضم الدهن هى ليبيز البنكرياس . وإذا منع عصير البنكرياس من الوصول إلى الأمعاء الدقيقة — تجريبياً أو مرضياً — خرج كثير من دهن الطعام مع البراز .

٢ — وجود أملاح الصفراء : وهذه الأملاح تساعد هضم الدهن كثيراً (ص ٨٦ و ٩٦) . وفضلا عن ذلك فهى تذيب الأحماض الدهنية فى الماء . فالأحماض الدهنية التى تتكون من هضم الطعام لا تذوب فى الماء ولكنها تصبح قابلة للذوبان إذا وجدت أملاح الصفراء[1] ويساعد الليسيثين أملاح

(١) تسمى هذه الخاصة بالخاصة الهيدروتروبية لأملاح الصفراء (Hydrotropic action)

الصفراء فى إذابة الأحماض الدهنية . وقد قام مالنبى (Mallenby) بتجارب تثبت أن الدهن قد يمتص ، دون أن يهضم ، إذا كان على هيئة مستحلب دقيق فى وجود أملاح الصفراء .

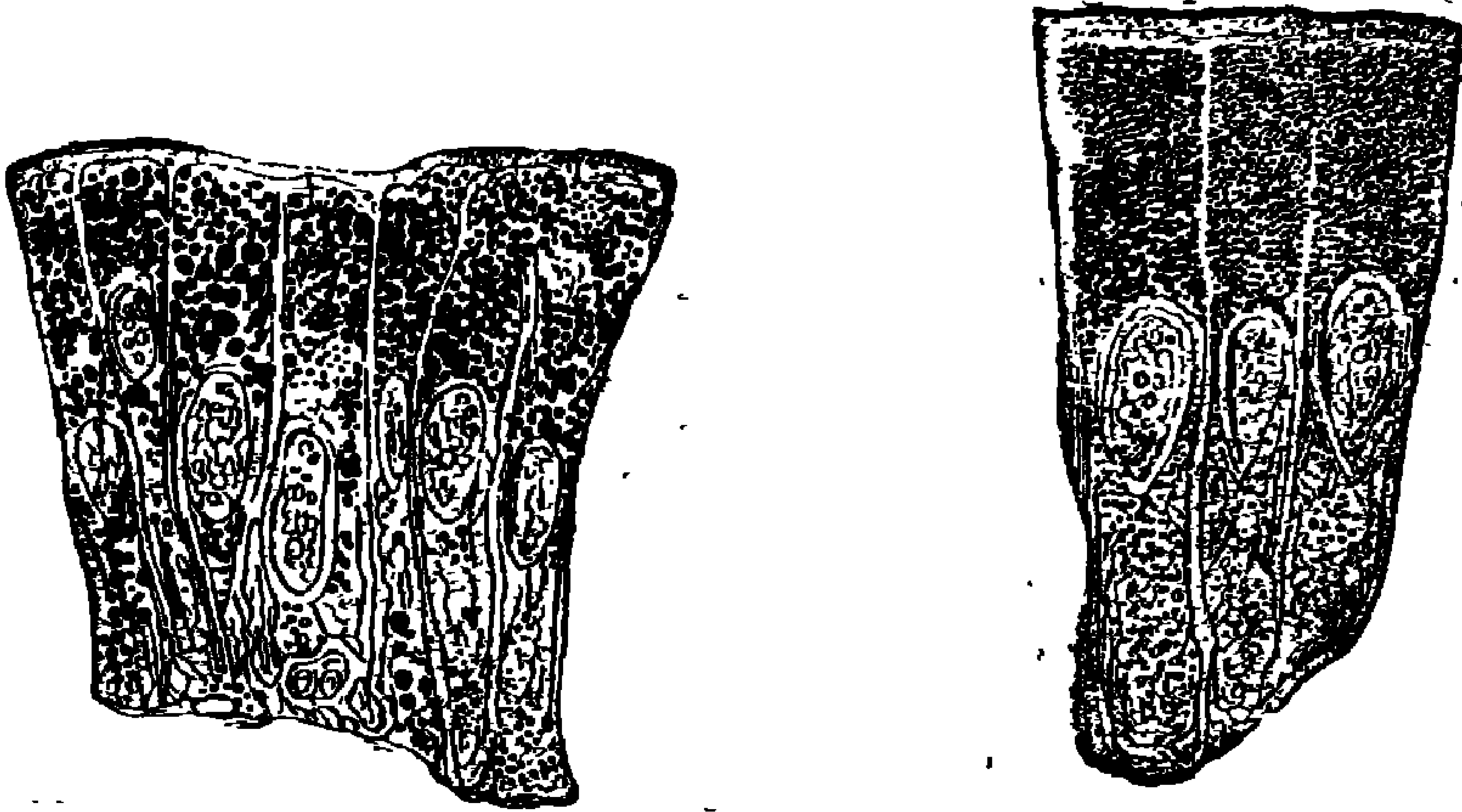
وإذا ربطت قناة الصفراء فى حيوان خرج معظم الدهن فى البراز كأحماض دهنية . ويثبت أن أملاح الصفراء أكثر أهمية لعملية امتصاص الدهن من عملية هضمه . وتذيب أملاح الصفراء أيضاً الكوليسترول والارجستيرول والفيتامين د ، وبذا تساعد على امتصاص هذه المشتقات الدهنية (ص ٩٧) ويقول فرزار (Verzar) أن أملاح الصفراء تتحد مع الأحماض الدهنية ، وتمتص الأحماض الدهنية إلى داخل الخلايا الطلائية للخمائل على هيئة هذا المركب . ثم تنفصل الأملاح وتذهب إلى الكبد لتفرز مرة أخرى إلى الأمعاء ، وهكذا نرى أن مقادير قليلة من أملاح الصفراء يمكنها أن تساعد هضم وامتصاص مقادير كبيرة من الدهن .

٣ — وجود الخميرة فوسفاتيز : إذا حقن الحيوان بمادة الفلوردزين أو بمادة يود وخلات الصوديوم (Na. iodoacetate) قل امتصاص الدهن وهذه المواد تردع عمل الخميرة فوسفاتيز . ويستدل بذلك على أن الأحماض الدهنية بعد وصولها إلى داخل الخلايا الطلائية للخمائل تتحول إلى فوسفوليپيد ؛ الذى يتكون كخطوة متوسطة لتحويل الأحماض الدهنية والجليسرين فى داخل الخلايا الطلائية إلى دهن ثانية بعد الامتصاص .

وبوساطة أصباغ خاصة تميز بين الأحماض الدهنية المطلقة وبين الدهن وجدت الأحماض الدهنية فى الخلايا الطلائية للفيران بعد عشرين دقيقة من تغذيتها بالدهن . وبعد ست ساعات كانت الخلايا ملأى بنقط من الدهن فقط واختفت تماماً كل الأحماض الدهنية المطلقة . ولكن عندما سممت الخميرة فوسفاتيز بوساطة يودوخلات الصوديوم كانت كمية المواد الدهنية فى الخلايا الطلائية أقل كثيراً من العادية ومعظمها على هيئة أحماض دهنية مطلقة .

ويمكننا أن نلخص ما تقدم بأن الأحماض الدهنية تمر إلى داخل الخلايا الطلائية ذائبة فى الماء بوساطة أملاح الصفراء ، أو متحدة معها ثم تتحول إلى فوسفوليپيد كخطوة متوسطة ثم تتحول إلى الدهن مرة أخرى .

ويبين (شكل ٤٩) الخلايا الطلائية للخمائل وقت امتصاص الدهن. والبقع السوداء عبارة عن نقط دهنية مصبوغة بحامض أوزميك (osmic acid) ويرى الطرف المخطط للخلايا خالياً من نقط الدهن. وفى أول عملية الامتصاص ترى نقط الدهن صغيرة (شكل ٤٩ ا) ثم تتحد مع بعضها وتكون نقطاً كبيرة (شكل ٤٩ ب).



ا (شكل ٤٩) ب

الخلايا الطلائية للخمائل وقت امتصاص الدهن

ا — فى بدء الامتصاص ب — بعد مدة من بدء الامتصاص

(عن شيفر عن كريهل)



ا (شكل ٥٠) ب

الخلايا الطلائية للخمائل وقت امتصاص الدهن

ا — فى غياب الفيتامين ب ب — فى وجوده بكثرة

(عن شيفر عن آخرين)

الامتصاص ترى نقط الدهن صغيرة (شكل ١٤٩ ا) ثم تتحد مع بعضها وتكون نقطا كبيرة (شكل ١٤٩ ب)

٤ — وجود الفيتامينات ا و ب فى الطعام : إذا كان الطعام خاليا من هذين الفيتامينين قل امتصاص الدهن وبقى فقط عند قمة الخميلة وظهر الدهن بشكل بقع كبيرة فى الخلايا — (شكل ١٥٠ ا)

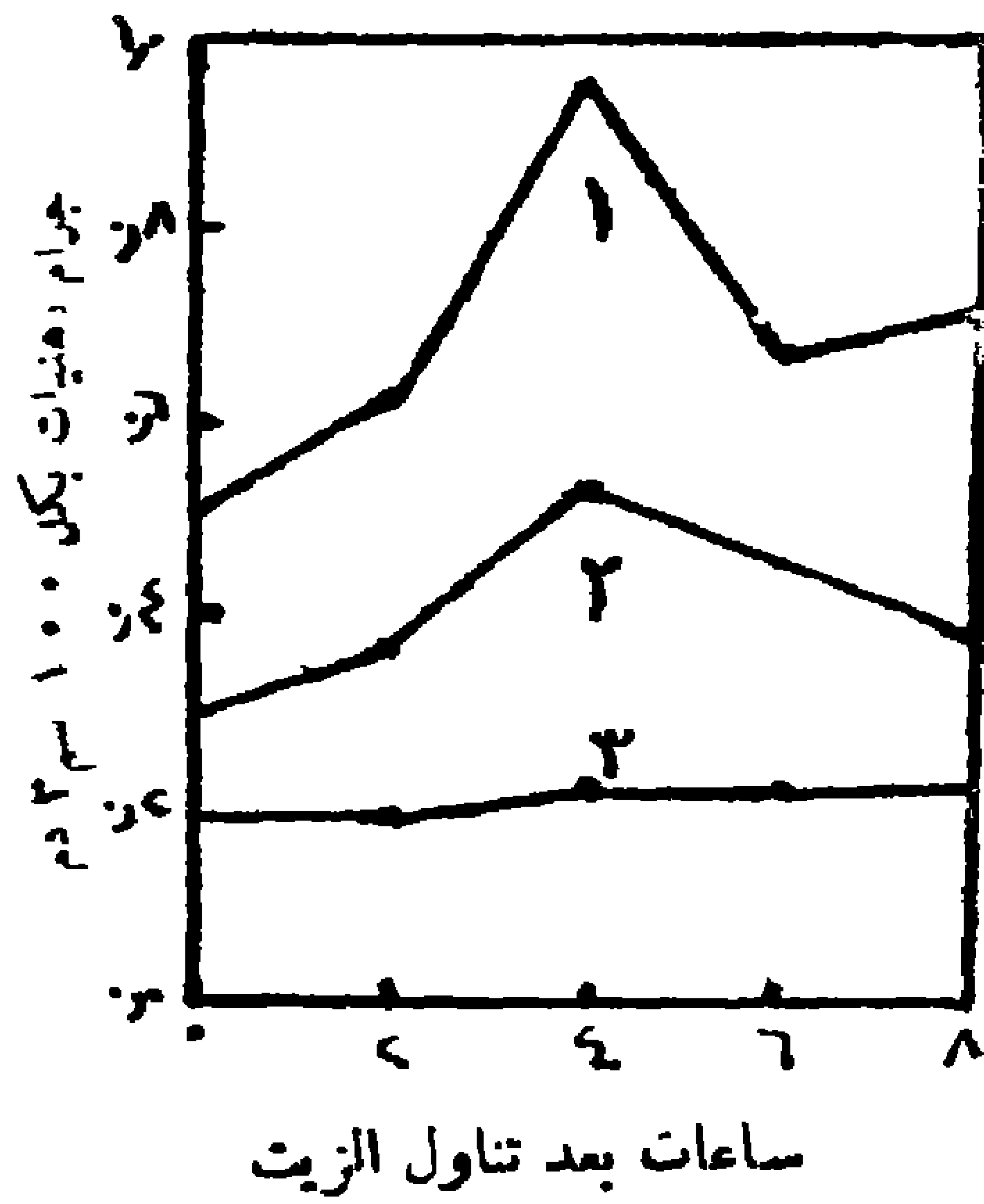
٥ — افراز قشرة الغدة فوق الكلية . إذا استؤصلت الغدتان فوق الكلية من حيوان امتنع امتصاص الدهن . ويظهر أن الهرمون كورتين لازم لتكوين الفسفوليبيد فى الخلايا الطلائية وقت الامتصاص

طريق الامتصاص : تمر نقط الدهن من الخلايا الطلائية إلى الوعاء اللبنى المركزى . ويقال أن الخلايا اللمفاوية الموجودة فى كثرة فى النسيج الشبكى للخميلة تساعد على ذلك ولكن ليس هناك دليل كاف . ومن الوعاء اللبنى المركزى يمر الدهن إلى الشبكة اللمفاوية بجدار الأمعاء فالأوعية اللمفاوية فالقناة الصدرية اللمفاوية ، حيث يوجد على شكل نقط صغيرة جداً من الدهن، قطرها أقل من $\frac{1}{1000}$ من الملليمتر . وإذا أعطى الحيوان طعاما من الأحماض الدهنية المطلقة فقط ظهرت فى القناة اللمفاوية متحدة مع الجليسيرول على هيئة دهن . مما يثبت أن خلايا الأمعاء يمكنها أن تصنع الجليسيرول وقت الامتصاص . وفائدة ذلك كبيرة إذ أن الأحماض الدهنية لو ذهبت الى الدم فى كثرة بحالتها المطلقة كانت سامة .

وإذا وضعت قنطرة فى القناة اللمفاوية الصدرية بعد أكلة من الدهن خرج منها حوالى ٦٠ ٪ من الدهن الذى يؤخذ بالطعام . والطريق الذى يتبعه باقى الدهن فى امتصاصه غير ثابت للآن تماماً . ويدعى بعضهم أنه يمر فى الوريد البابى إلى الكبد مباشرة ولكن ربما مر بوساطة أوعية لمفاوية إلى القناة اللمفاوية اليمنى (right lymph duct) أو إلى الوريد الفردى (azygos vein) [لى Lee]

إستعمال الدهنيات بالجسم

يمر الدهن بعد امتصاصه سواء عن طريق القناة الليمفاوية الصدرية أو عن أى طريق آخر إلى الدورة الدموية وتزيد نسبة الدهن فى الدم وقت الامتصاص وقد تصل إلى ٢ ٪ (alimentary lipaemia) . وتزداد أيضاً كمية الفوسفوليپيد فى البلازما ، ويتبع ذلك زيادة فى الكوليسترول . وإسترات الكوليسترول . ثم تقل تدريجيا كمية الدهن بالدم بين الوجبة والأخرى ويبين شكل (٥١) زيادة دهنيات الدم فى كلب بعد تعاطيه ٥٠ جراما من الزيت .



ساعات بعد تناول الزيت

شكل (٥١)

١ — المجموع الكلى للأحماض الدهنية

٢ — الفسفوليپيد ٣ — الكوليسترول (بلور)

ويترك الدهن الدم إلى الأنسجة لاستعماله فى أحد الوجوه الآتية :

١ — يخزن بالجسم (Store fat) .

٢ — يكون دهن الأنسجة (Tissue fat) . الذى يدخل فى تركيب البروتوپلازم ويعتبر — كالبروتين — جزءاً أساسياً من البروتوپلازم .

٣ — يتأكسد إلى ثانى أكسيد كربون وماء ويعطى طاقته .

٤ — ربما تحول إلى مائيات الكربون .
٥ — يستعمل لتكوين دهن اللبن بوساطة غدد الثديين فى المراضع .
٦ — يخرج الجسم كميات قليلة من الدهن عن طريق البرازو عن طريق الجلد ، وفى أحوال نادرة جداً يوجد الدهن بالبول (chyluria) .

وسنتكلم عن هذه الوجوه واحداً فواحداً .

(١) الدهن المخزون

يخزن الدهن تحت الجلد ، وبداخل البطن حول الكلى (Perirenal) وفى المساريق (mesentary) والثرب (omentum) ، كما يخزن فى النسيج الضام بين العضلات وغيرها من المخازن .

ويوجد الدهن فى هذه الأنسجة الدهنية بداخل خلايا دهنية ، يحل الدهن فيها محل معظم پروتوپلازم الخلية ويكون البروتوپلازم على شكل غشاء رقيق يحيط بالدهن وينتفخ حيث توجد نواة الخلية (شكل ٨) . وهذا الدهن المخزون يمكن صبغه بسهولة بالأصباغ الهيستولوچية المختلفة كحامض الأوزميك أوسودان (٣) (Sudan III) وما إليها . ويمكن رؤيته تحت المجهر؛ بعكس دهن الأنسجة الذى لا يظهر تحت المجهر إلا فى ظروف خاصة غير طبيعية .

ويتركب معظم هذا الدهن كيميائياً من ثلاثيات الجليسيرول . وأهم الأحماض الدهنية التى به هى حامض أوليك وحامض پالميتيك وحامض ستياريك . ويوجد به كميات قليلة جداً من الليسيثين والكوليسترول . والقيمة اليودية[1] (iodine value) لدهن المخازن أقل منها لدهن الأنسجة مما يدل على أن الأحماض الدهنية فى المخازن أكثر تشبعا (more Saturated) منها فى الأنسجة . والتركيب الكيميائى للدهن المخزون ثابت ، نوعا ما ،

(١) القيمة اليودية هى كمية اليود مقدرة بالجرام التى يمكنها أن تتحد مع ١٠٠ جرام من الدهن . وكلما زادت الأحماض الدهنية الغير المشبعة فى عينة الدهن زادت القيمة اليودية .

للحيوانات التي تمت لأى فصيلة . وذلك لأنها غالباً تتناول نفس النوع من الطعام . ولكن قد أمكن تجريبياً تغيير دهن المخازن . فلو جوّع حيوان حتى يفقد كثيراً من دهنه المخزون ، ثم سمّن على غذاء خاص ، نجد أن الدهن الذى يخزنه يقارب فى تركيبه الكيميائى دهن الطعام . وقد أمكن وجود أحماض دهنية غير طبيعية للحيوان فى مخازن الدهن به بعد إعطائها فى الطعام . والدهن الذى يصنع بالحيوان من مائيات الكربون ثم يخزن يحتوى عادة على كمية أكبر من الأحماض الدهنية المشبعة .

مصادر الدهن المخزون : يخزن الحيوان الدهن عندما تزيد القيمة الحرارية للطعام عن القيمة الحرارية للتمثيل الغذائى العام بالجسم . ويشتق الدهن المخزون من كل أنواع الطعام الثلاثة وقد ذكرنا فى صفحة ٢٣١ الأدلة على تحويل مائيات الكربون إلى دهن بالجسم ، وفى صفحة ١٩٩ التجارب التى تثبت أن البروتين أيضا يمكن تحويله بجسم الحيوان إلى دهن ، ولكن لا يحدث ذلك عادة إلا إذا كانت مخازن الجليكوچين ملأى به

وكيفية صناعة الدهن من مائيات الكربون موضع حدث وتخمين . فجزىء الجلوكوز يمكن تحويله بسهولة إلى جزيئين من الجليسيرول . وقد تصنع الأحماض الدهنية من الجلوكوز بالطريقة الآتية :

سبق أن رأينا أن الجلوكوز يتحول إلى حامض بيروڤيك كخطوة متوسطة لأكسدته بالأنسجة . وقد يبدأ تحويل الجلوكوز إلى الأحماض الدهنية من هذه الخطوة المتوسطة . فيفقد حامض بيروڤيك جزيئا من ثانى أكسيد الكربون ويتحول إلى أسيتالدهيد ، وذلك بوساطة الخميرة كاربوكسيليز (carboxylase) التى توجد فى معظم أنسجة الجسم ويتكاثف الأسيتالدهيد مع جزىء آخر من حامض بيروڤيك ثم يفقد المركب الناتج ثانى أكسيد الكربون ويتحول إلى كروتونيك ألدهيد . وبمثل هذا التكاثف تتكون ألدهيدات تحتوى على كل الأعداد الزوجية من ذرات الكربون . وإذا أضيف الأيدروچين إلى كروتونيك ألدهيد تحول إلى بيوتيريك

ألدهيد . وهذا يتحول عن طريق الاكسدة إلى حامض بيوتيريك . وباتباع نفس هذه الطريقة يمكن صناعة الأحماض الدهنية التي تحتوى على عدد أكبر من ذرات الكربون . وتبين الرموز الآتية : تحويل حامض بيروفيك إلى حامض بيوتيريك

ك يد$_3$. ك ا . ك ا ا يد ←(كربوكسيليز)— ك يد$_3$. ك يد ا ←(يتكاثف مع حامض بيرفيك)—

ك يد$_3$. ك يد : ك يد . ك ا . ك ا ا يد ←(كربوكسيليز)— ك يد$_3$. ك يد :

ك يد . ك يد ا ←(+ يد$_2$)— ك يد$_3$. ك يد$_2$. ك يد$_2$. ك يد ا ←(+ ا)— ك يد$_3$.

ك يد$_2$. ك يد$_2$. ك ا ا يد

وظائف الدهن المخزون : الدهن أهم مخزن للطاقة بالجسم . إذ أن كمية ما يمكن خزنه منه غير محدودة . وطالما زاد الدخل عن الخرج الحرارى خزن الدهن بالجسم . وكمية الدهن المخزون تعادل تقريبا ١٢٪ من الوزن الكلى للرجل العادى . وقد تكون النسبة أكبر من هذه بكثير . وأما فى حالة مائيات الكربون والبروتينات فلا يمكن أن يخزن منها فى الانسان إلا كميات محدودة وهى ٥٠٠ جم من الجليكوجين وكيلو جرامين من البروتين على الأكثر .

وفضلا عن ذلك فأن مائيات الكربون والبروتين تخزن مذابة على الأقل فى أربعة أمثال وزنها من الماء بينما تتكون مخازن الدهن من ٩٥٪ من الدهن النقى على أقل تقدير . ولما كانت القيمة الحرارية لكل جرام من الدهن تعطى بالجسم ٩٫٣ سعرا حراريا كبيرا فى حين يعطى الجرام من مائيات الكربون أو البروتين ٤٫١ سعرا حراريا فقط فإننا نرى أنه بوساطة الدهن يمكن خزن أكبر مقدار من الطاقة فى أقل حجم من الجسم .

ويستعمل الدهن المخزون وقت الصيام أو عندما تقل القيمة الحرارية للطعام عن حاجة الجسم وقد رأينا أنه فى حالات الصيام التام قد يختفى كل دهن المخازن فى حين أن دهن الأنسجة لا يتأثر بتاتا . ويعطى الدهن

حوالى ٨٣٪ من الطاقة الـكلية وقت الصيام . وإذا نفدت مخازن الدهن اضطر الجسم للحصول على طاقته كلها من بروتين البروتوبلازم . ويحدث ذلك قبل الوفاة بأيام قليلة .

وقد رأينا فى (صفحة ١٥٣) أن الدهن قد يقدم الطاقة اللازمة للمجهود الرياضى . أى أن الطاقة التى تتولد من أكسدة الدهن بالجسم لا تتحول فقط إلى حرارة بل يمكن أن تكون وقودا للأعمال الميكانيكية ولو أن الجسم يفضل مائيات الكربون لذلك إن وجدت . ويوجد الدهن بكل الألياف العضلية وكلما زاد عمل العضلة ونشاطها زادت كمية الدهن بها . فيوجد الدهن فى كثرة فى عضلة القلب وفى عضلة الحجاب الحاجز .

وللدهن المخزون وظائف أخرى فيمنع الدهن الموجود تحت الجلد فقد كميات كبيرة من حرارة الجسم . وذلك يفسر مقدرة السيدات على احتمال الجو البارد عن الرجال ، نظرا لوجود كميات أكبر من الدهن تحت جلودهن . ويملأ الدهن الفراغات الموجودة بين أعضاء الجسم فيحفظ الأعضاء فى مواضعها ويقيها من التأثر بالضغط .

السمنة : هى خزن مقادير كبيرة من الدهن بالجسم . وقد تنتج من سببين : —

١ — الإفراط فى تناول الطعام مع عدم القيام بمجهود رياضى كاف

٢ — تعاطى كمية عادية من الطعام ولـكن سرعة التمثيل الغذائى بالجسم تكون أقل من المعتاد نظرا لمرض داخلى . فمثلا تصحب السمنة نقص عمل الغدد التناسلية فتظهر فى السيدات فى سن اليأس وفى الماشية عند خصيها . وتنتج السمنة كذلك من نقص فى عمل الغدتين النخامية والدرقية . وهناك بعض حالات من السمنة تظهر بلا سبب واضح . فقد يتعاطى شخص كميات وافرة من الطعام ولا يقوم ، على ما يظهر ، بمجهود رياضى كاف ومع ذلك يبقى نحيفاً . فى حين تظهر السمنة عند شخص آخر يعيش فى نفس بيئته وليس له شهية كبيرة مثله لتناول الطعام . وهذه الحالات إذا فحصت بعناية وجدت

السمنة — بعكس النحافة — دائما مصحوبة بزيادة فى الدخل الحرارى عن الخرج الحرارى للجسم لأى سبب من الأسباب .

والسمنة الزائدة مضرة للأسباب الآتية : —

١ — السمنة تزيد وزن الجسم فتزيد مقدار الطاقة اللازمة لعمل أى مجهود رياضى كما تزيد عمل القلب والدورة الدموية . ويحدث ارتفاع ضغط الدم الشريانى . بنسبة أكثر فى السمان .

٢ — تمنع السمنة الزائدة الجسم من أن يفقد كميات كافية من الحرارة عن طريق التوصيل والاشعاع ولذلك يزداد إفراز العرق .

٣ — يحدث مرض البول السكرى بنسبة أكثر فى السمان من النحاف ويقول جوسلين (Joslin) أن السمنة هى الباب المفتوح لمرض البول السكرى

٤ — ويقال أيضاً أن السمان أقل مقاومة للعدوى ولاحتمال العمليات الجراحية من ذوى الوزن العادى .

علاج السمنة : إن كانت السمنة ناتجة من نقص فى عمل الغدد الصماء فيجب علاج ذلك أولا . وأما إن لم تكن مصحوبة بأى خلل داخلى فالأساس فى علاجها أن تقلل القيمة الحرارية للغذاء فى حين يزاد المجهود الرياضى . ويلاحظ عند تقليل الغذاء ما يأتى :

١ — الدهن مصدر كبير للطاقة ويجب الاقلال منه بقدر الامكان ولكن يجب ملاحظة احتواء الطعام على كميات كافية من الڤيتامينات التى تذوب فى الدهون .

٢ — يسمح للمريض بكميات كافية من البروتين كاللحم الذى لايحتوى على دهن كثير . وذلك كى يحفظ الجسم فى توازن أزوتى ولا يفقد شيئاً من أنسجته الحيوية . وفضلا عن ذلك فارتفاع كمية البروتين فى الطعام تزيد سرعة التمثيل الغذائى نظراً لفعله النوعى الديناميكى .

٣ — تقلل النشويات بقدر الأمكان ولكن يجب دائماً ملاحظة عدم تكون الأجسام الخلونيـــة بالجسم لدرجة مضرة . ويلاحظ ذلك من وجودها بالبول فى كثرة أو من زيادة كمية الأمونيا بالبول (ص ٢٤٤) . فان تكونت الأجسام الخلونية تزاد نسبة مائيات الكربون فى الطعام .

٤ — لاشباع الشخص يسمح له بتعاطى كميات كافية من الخضروات والفواكه وهذه ليس لها قيمة حرارية كبيرة .

٥ — الكحول مصدر كبير للطاقة بالجسم فيجب الامتناع عنه أو الاقلال منه بقدر الامكان .

وقد استعمل الثيروكسين لزيادة التمثيل الغذائى بالجسم ولكن ليس من المستحسن أعطاء هذا الهرمون إلا فى الحالات التى تتسبب من نقص فى افرازه إذ أن له تأثيرات أخرى غير مرغوب فيها . واستعملت أيضاً مادة دينيتروفينول وهى تزيد سرعة التمثيل الغذائى جداً (ص١٤٢) ولكن وجد أنها تسبب إتلاف الكبد . ولذلك يستحسن أن يزاد التمثيل الغذائى فى حالات السمنة بالطريقة الطبيعية الفسيولوچية وهى زيادة المجهود الرياضى الذى يقوم به الشخص .

(٢) دهن الأنسجة

يدخل هذا الدهن فى تركيب البروتوبلازم كعنصر أساسى مثل البروتين وتوجد أكبر كمية منه بالمخ والنخاع الشوكى وبأغشية الخلايا . ويتكون معظمه من الفسفوليپيد . ولذلك به كميات كبيرة من الفوسفور ومن الأحماض الدهنية الغير المشبعة ، بعكس دهن المخازن . وقيمته اليودية أعلى من تلك التى للدهن المخزون . ولا يمكن أن يصبغ دهن الأنسجة باصبـــاغ الدهون الهيستولوچية ؛ ولايمكن أن يرى تحت المجهر ؛ وتركيبه الكيميائى وكميته فى الأنسجة ثابتان لا يتغيران بنوع الدهن فى الطعام . ولا يستعمل دهن الأنسجة

مطلقا فى الصيام مهما استمر ؛ ولذلك أطلق عليـــه ماير وتروان (Mayer & Terroine) اسم العنصر الثابت (Constant element) إذ أن المخ الذى يحتوى على أكبر كمية من دهن الأنسجة لا يفقد شيئا منه وقت الصيام فى حين أن الدهن المخزون قد يختفى تماما . ولذلك سمى الدهن المخزون بالعنصر المتغير (Variable element) .

وظائف الفسفوليبيد : لا يعلم بالضبط الدور الذى تقوم به الفسفوليبيد فى البروتوبلازم مع أنهـا مركبات أساسية وتوجد فى كل الأنسجة الحية وتكثر فى النسيج كلما زاد نشاطه . ويقال أنها تقوم ببعض عمليـــات الأكسدة والاختزال فى الخلية ، فالاحماض الدهنية الغير المشبعة فيها تحمل الأوكسيجين وتقدمه إلى الجزيئات التى تجرى أكسدتها فى الخلية . ووجودها فى أغشية الخلايا ينظم مرور المواد من الخلية واليها . ولا يستعمل الفسفوليبيد الموجود بالبروتوبلازم كغذاء للخلية مع أنه يحتوى على ٧٠ ./. تقريبا من الأحماض الدهنية . وقد رأينا أنه فى حالة الصيام التام لا تنقص كميـــة الفسفوليبيد فى الأنسجة .

ويمكن اعتبار الفسفوليبيد كخطوة متوسطة فى استعمال وأكسدة الدهن بالجسم ، فقد رأينا أنه فى عملية امتصاص الدهن من الأمعاء تتحول الاحماض الدهنية إلى فسفوليبيد أولا . كما أن نسبة الفسفوليبيد تزيد فى البلازما فى كل الحالات التى يستعمل فيها الجسم كميات كبيرة من الدهن ، كما يحدث بعد أكلة غنية بالدهن أو فى الصيام أو فى مرض البول السكرى . ويظن أن الدهون تنتقل من مكان إلى آخر بالجسم على شكل فسفوليبيد إذ أن الفسفوليبيد تمتزج بالدم وبسوائل الجسم أسهل كثيرا من امتزاج ثلاثيات الجليسيرول وكذلك تمر الفسفوليبيد بسهولة من أغشية الخلايا .

(٣) أكسدة الدهن

يذهب دهن المخازن، إذا أريد استعماله إلى الكبد لتؤثر فيه أولا — ويدعم ذلك أن كمية الدهن بالكبد تزيد زيادة كبيرة فى أحوال عديدة يزداد فيها استعمال دهن المخازن. وتحتوى الكبد فى هذه الحالات على كمية من الدهن أكبر كثيراً مما يوجد فى أى عضو آخر والحالات التى يزيد فيها دهن الكبد هى :

١ — فى التغذية بالدهن أو بمقادير كبيرة من الكوليسترول وفى حالة نقص القاعدة كولين (Choline) من الطعام. وفى حالة الصيام

٢ — فى حالات مرض البول السكرى والأنيميا الخبيثة.

٣ — فى حالات الأمراض المعدية.

٤ — فى حالات التسمم بالفسفور أو الكلوروفورم وما إليهما.

ويزداد دهن الكبد فى ساعات قليلة من تناول طعام غنى بالدهون وفى هذه الحالة يؤثر دهن الطعام فى التركيب الكيميائى لثلاثيات الجليسيرول والفسفوليپيد الموجودين بالكبد. وفى الحالات التى لا يؤخذ فيها دهن بالطعام يشتق الدهن الزائد فى الكبد من الدهن المخزون ومما يثبت ذلك بلا شك التجارب الأخيرة التى قام بها شوينهيمر وريتنبرج (Schoenheimer & Rittenberg) فقد خزنا بالحيوانات أحماضا دهنية مُعَلَّمه باحتوائها على ذرات من الايدروجين الثقيل (Heavy hydrogen) وقد وجدا أنه عند تسميم الحيوانات بالفوسفور تظهر فى الكبد هذه الأحماض الدهنية بالذات. ويمكن انقاص الدهن المتكون بالكبد نتيجة التسمم بالفسفور أو التغذية بالكوليسترول إذا أعطى الحيوان مقادير كافية من القاعدة كولين، وربما دل ذلك على أن الكبد تستعمل هذه القاعدة لصناعة الليسيثين من الأحماض الدهنية وبذا تتخلص منها

إلى الدم . ويظهر أن غدة البنكرياس تقوم بدور فى صناعة الكولين بالجسم بمقادير تكفى حاجته ، إذ أنه لو استؤصلت غدة البنكرياس من حيوان ثم حقن بالأنسولين باستمرار ليبقى حيا ، تراكم الدهن وإسترات الكوليسترول فى الكبد بمقادير كبيرة ، قد تصل إلى ٦٠ ٪ من وزن الكبد الكلى ، فى حين أن نسبة الفسفوليبيد وإسترات الكوليسترول بالدم تقل جداً . فاذا أعطى الكولين أو الليسيثين — وهو يحتوى على الكولين — فى الطعام قل دهن الكبد وزاد فسفوليبيد الدم .

تدل التجارب السابقة على أن الكبد تقوم بدور خاص مبدئى فى استعمال الدهن بالجسم ؛ وفضلا عن أن الكبد هو العضو الذى يقوم بتحويل مائيات الكربون والبروتين إلى دهن ، ويقوم بتحويل الجليسيرول وربما الأحماض الدهنية إلى مائيات الكربون ، فقد أعطيت الكبد عدة وظائف أخرى فى استعمال الدهن بالجسم . وهذه الوظائف هى :

١ — إنقاص درجة تشبع الأحماض الدهنية (Desaturation) .

٢ — تكوين الفسفوليبيد من ثلاثيات الجليسيرول .

٣ — صناعة الأجسام الخلونية .

والأدلة التى قدمت لإثبات أن الكبد تنقص درجة تشبع الأحماض الدهنيـــة هى أن ليثز (Leathes) أطعم حيوانات على زيت كبد الحوت (cod liver oil) . ويحتوى هذا الزيت على كميات كبيرة من الأحماض الدهنية الغير المشبعة . وقد وجد أن دهن كبد هذه الحيوانات له قيمة يودية أعلى من تلك التى للطعام . ويمكن تفسير هذه التجارب على وجهين : فإما أن الكبد تلتقط من الدم الأحماض الدهنية الغير المشبعة وتحفظها لنفسها ، وبذا تعلو القيمة اليودية لدهون الكبد ؛ وإما أن الكبد نفسها تنقص من درجة تشبع الأحماض الدهنية . ثم كشف هارتلى (Hartley) بعد ذلك أن السبب الثانى هو الصحيح إذ أنه وجدت بالكبد أحماض دهنية غير مشبعة بخلاف تلك

التى توجد بالطعام . ولو أن تجارب هارتلى نفسها لم تؤيد فيما بعد إلا أنه مما لاشك فيه أن للجسم المقدرة على إنقاص درجة تشبع الأحماض الدهنية إذ أن شوينهيمر وريتنبرج قد استعملا طريقتهما فى إعطاء الحيوانات فى الطعام أحماضاً دهنية تحتوى على ذرات من الأيدروچين الثقيل (Heavy hydrogen) وقد وجدا أن الجسم ينقص درجة تشبعها ولكن لم تثبت تجاربهما فى أى مكان بالجسم يحدث ذلك .

ومن حيث صناعة الفسفوليپيد فان معظم الدهن الذى يوجد فى الحالة الطبيعية فى الكبد يكون على هيئة فسفوليپيد . وقد رأينا أنه إذا نقصت القاعدة كولين من الطعام وهى القاعدة التى تدخل فى تركيب الليسيثين زاد الدهن بالكبد كثيراً وكان معظمه على هيئة ثلاثيات الجليسيرول فى حين يقل الفسفوليپيد من البلازما .

وأما الأدلة على أن الأحماض الخلونية يتكون معظمها فى الكبد فهى :

١ — إذا مررت الأحماض الدهنية فى الكبد (liver perfusion) تكون منها حامض أسيتو أسيتيك .

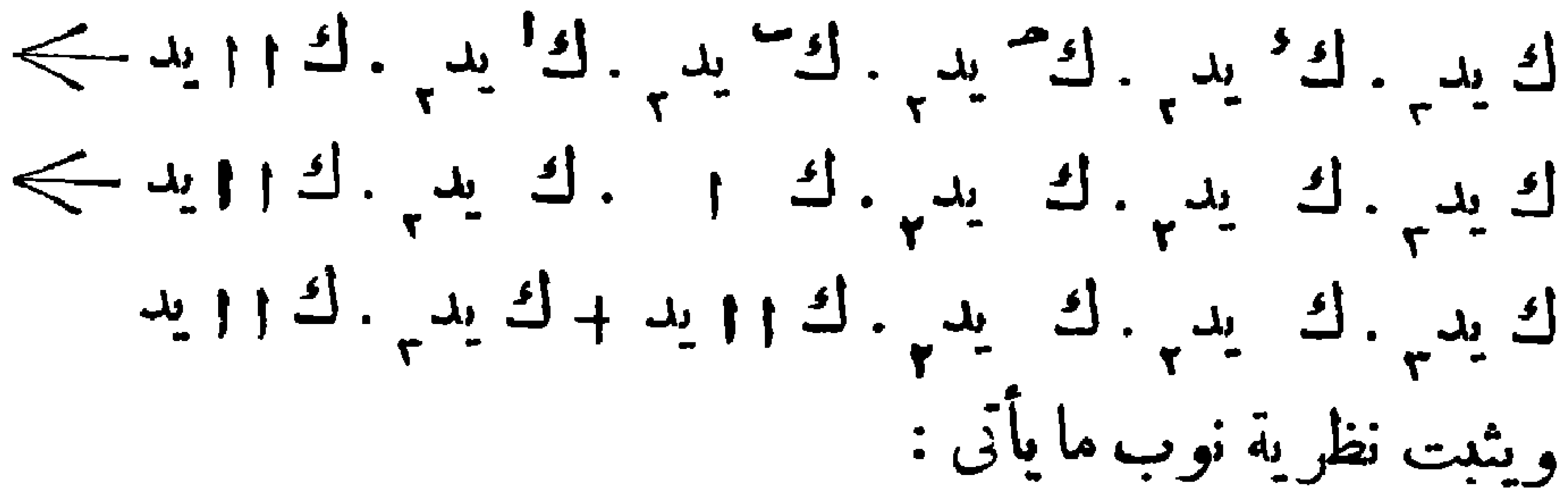
٢ — إذا حقنت خلاصة الفص الأمامى للغدة النخامية فى حيوان طبيعى زادت كمية الأحماض الخلونية بدمه (ketogenic hormone) . وأما إذا حقنت هذه الخلاصة فى الحيوان أللاكبدى فلا تتكون الأحماض الخلونية .

٣ — تختفى الأحماض الخلونية الموجودة بدم الحيوان أللابنكرياسى إذا استؤصل الكبد أيضاً .

لا يعنى ماتقدم أن الكبد هو العضو الوحيد الذى يقوم بأكسدة الدهن بالجسم فقد قام كواستل (Quastel) وآخرون بعمل تجارب على تأثير شرائح من الأنسجة المختلفة (tissue slices) على الأحماض الدهنية وقد وجد أن للأعضاء الأخرى كالكلى والطحال والخصيتين بعض القدرة على الأكسدة . وأما

المخ فلا يمكنه بتاتاً أكسدة الأحماض الدهنية . وقد وجد أيضاً أن الكبد أقوى كثيراً من الكلى فى أكسدة الأحماض الدهنية إلى حامض أسيتو أسيتيك ولكنها لاتقوى على تكملة الأكسدة بعد ذلك فى حين أن الكلى والطحال يمكنهما القيام بأكسدة حامض اسيتو أسيتيك أكسدة تامة .

كيمياء أكسدة الأحماض الدهنية: يقول نوب (Knoop) أن أكسدة جزىء الحامض الدهنى تكون فى ذرة الكربون الثانية بعـــد مجموعة الكربوكسيل ثم تنفصل المجموعة الكربوكسيلية معذرة الكربون الملاصقة لها . وينتج عن ذلك حامض دهنى ينقص ذرتين من الكربون عن الحامض الأول ثم تستمر هذه العملية . وهى تكسير ذرتين من الكربون كل مرة . ولمعرفة موضع الأكسدة تنمر ذرات الكربون بالحروف الأبجدية فتعطى الذرة الملاصقة لمجموعة الكربون اسم ا والذرة الثانية ب ثم حـ وهكذا . فعلى حسب نظرية نوب تجرى الأكـــسدة دائماً فى ذرة الكربون ب (Knoop's B. oxidation) كما يتبين من الرموز الآتية :



ويثبت نظرية نوب ما يأتى :

١ — كل الأحماض الدهنية التى توجد بالجسم تتكون من عدد زوجى من ذرات الكربون .

٢ — إذا مررت الأحماض الدهنية فى الكبد نتج عنها حامض أسيتو أسيتيك إذا كانت الأحماض الدهنية تحتوى على عدد زوجى من ذرات الكربون . ولا يحدث ذلك إذا احتوت على عدد فردى .

٣ — أعطى نوب مشتقات الفينيل المحتوية على سلسلة جانبية تتكون من حامض دهنى . وإنه من المعلوم أن حلقة الفينيل لاتتأكسد بالجسم إلا إذا

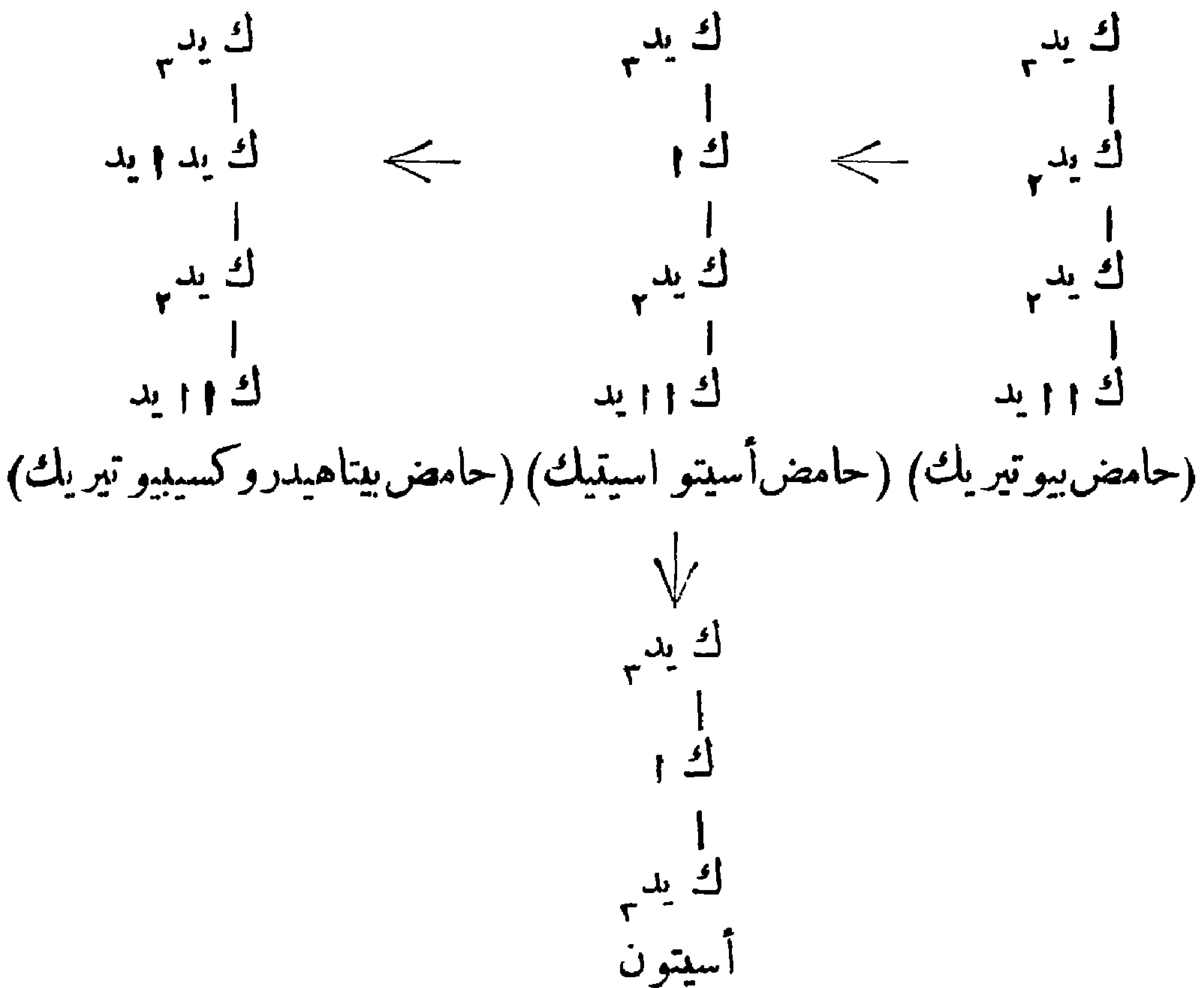
كانت فى جزىء الأحماض الأمينية كالفينيل ألانين والتيروزين ؛ وأما فى غير ذلك فإنها تخرج بالبول . فباعطاء الحامض الدهنى متحداً مع الفينيل — الذى لا يتأكسد بالجسم — يمكن معرفة ما يتبقى من الحامض الدهنى بعد أكسدته ؛ وذلك بملاحظة مركب الفينيل الذى يخرج بالبول . وقد وجد من هذه التجارب أنه إذا كان الحامض الدهنى — المتحد مع الفينيل — ذا عدد فردى من ذرات الكربون خرج بالبول حامض بنزويك (Benzoic acid) وأما إن كان ذا عدد زوجى من ذرات الكربون خرج بالبول حامض فينأسيتيك (Phenacetic acid) . أى أن كل الأحماض الدهنية ذات العدد الفردى من ذرات الكربون يبقى منها ذرة واحدة من الكربون فقط متحدة مع الفينيل . وكل الأحماض الدهنية ذات العدد الزوجى من ذرات الكربون يبقى منها ذرتان من الكربون متحدتان مع الفينيل. ويثبت ذلك أن الأحماض الدهنيـة تتأكسد عن طريق تكسير ذرتين من الكربون فى كل مرة . ولا يخرج حامض بنزويك أو حامض فينأسيتيك بالبول بحالتـه المطلقة ولكنهما يخرجان متحدين مع الحامض الأمينى جليسين ؛ فيكوّن حامض بنزويك حامض هيپوريك (Hippuric acid) ويكون حامض فينأسيتيك حامض فينأسيتيوريك (Phenaceturic acid) . ويجرى هذا الاتحاد فى الكلى ويقلل من التأثير السام لهذين الحامضين . ويبين جدول (٩) هذه التجارب

وقد قام ديكن (Dakin) بتجارب تثبت أن أول نتاج للأكسدة عند ذرة الكربون ب هو الحصول على حامض كيتونى وبعـــد ذلك قد يتبع هذا الحامض عدة طرق فمثلا يتأكسد عند هذه الذرة مرة أخرى ويتكون منه حامض دهنى ينقص عن الحامض الأول ذرتين من الكربون . أو قد يتحول بوساطة الاختزال إلى حامض هيدروكسيلى عند ذرة الكربون ب أو قد يفقد مجموعة الكربوكسيل مكونا كيتونا . فمثلا لو طبقنا هذه الطرق على حامض بيوتيريك نتج أولا حامض أسيتوأسيتيك وهذا قد يكون جزيئين

جدول (٩)

الحمض الذى أعطى للحيوان	عدد ذرات الكربون فى الحامض الدهنى	الحمض الذى يخرج بالبول	عدد ذرات الكربون التى أكسدت بالجسم
حامض بنزويك ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك ا ا يد	١	ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك ا ا يد	٠
حامض فيناسيتيك ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك يد$_{٢}$ ك ا ا يد	٢	ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك يد$_{٢}$ ك ا ا يد	٠
حامض فينيل بروبيونيك ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك يد$_{٢}$ ك يد$_{٢}$ ك ا ا يد	٣	ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك ا ا يد	٢
حامض فينيل بيوتيريك ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ (ك يد$_{٢}$)$_{٣}$ ك ا ا يد	٤	ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك يد$_{٢}$ ك ا ا يد	٢
حامض فينيل فاليريك ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ (ك يد$_{٢}$)$_{٤}$ ك ا ا يد	٥	ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك ا ا يد	٤
حامض فينيل كاپرويك ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ (ك يد$_{٢}$)$_{٥}$ ك ا ا يد	٦	ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك يد$_{٢}$ ك ا ا يد	٤

من حامض الخليك أو قد يختزل إلى حامض بيتاهيدروكسى بيوتيريك أو قد يتحول إلى أسيتون . كما يرى من الرموز الآتية :

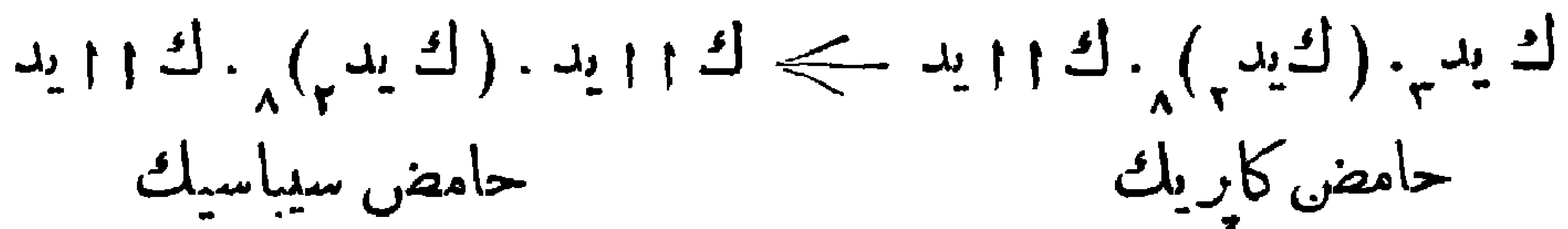


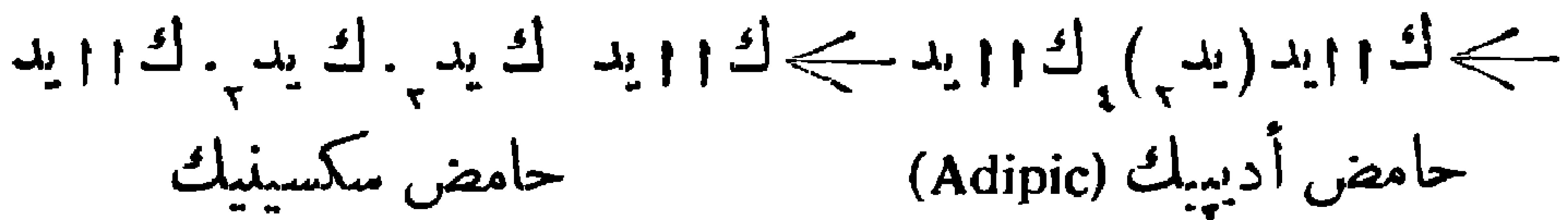
ومما يدعم رأى ديكن أن هذه الأجسام هى الأجسام الخلونية التى تتراكم بالجسم وتفرز بالبول فى الصيام أو فى مرض البول السكرى .

هذا ويظن ريبر (Raper) أن الأحماض الدهنية قد تتأكسد فى مواضع أخرى غير موضع ذرة الكربون ب ، وذلك لأن أكسدة الأحماض الدهنية خارج الجسم بوساطة فوق أكسيد الإيدروچين أثبتت ذلك ومن المعلوم أن الأكسدة داخل الجسم تشبه فى كثير من الوجوه الأكسدة خارجة بوساطة فوق أكسيد الإيدروچين . وقد وجد ريبر فى تجاربه أن الأحماض الدهنية قد تتأكسد عند ذرة الكربون حـ أو ى .

وقد أظهر فركادى (Verkade) وآخرون أن الحامض الدهنى قد يتأكسد

أولا عند ذرة الكربون الأخيرة البعيدة عن مجموعة الكربوكسيل وبذلك يتكون حامض دهنى ثنـــائى الكربوكسيل فمثلا يتحول حامض كاپريك (Capric acid) إلى حامض سيباسيك (Sebacic acid) . ثم يتأكسد الحامض بعد ذلك من ناحيتيه عنـد ذرة الكربون ب من كل ناحية ويتكون حامض دهنى ينقص عن الأول بأربعة ذرات من الكربون . وقد تحدث الأكسدة من ناحية واحدة مع إنقاص ذرتين من الكربون فقط . وتدعو هذه الطريقة أخيراً إلى تكوين حامض سكسينيك (Succinic acid) الذى يتأكسد إلى ثانى أكسيد كربون وماء كما يتبين من الرموز الآتية :





ويظهر مما تقدم أنه قد يكون هناك عدة طرق لأكسدة الأحماض الدهنية بالجسم ولكن طريقة الأكسدة عند ذرة الكربون ب هى أهمها .

وتستمر عملية أكسدة الأحماض الدهنية حتى نصل إلى جزىء يحتوى على أربع ذرات من الكربون . ولا يتأكسد هذا الجزىء بعد ذلك إلا إذا صحبه فى الجسم أكسدة مائيات الكربون . وفى حالة عدم أكسدة مائيات الكربون تتراكم فى الدم الأجسام الخلونية وهى حامض أسيتو أسيتيك وحامض بيتاهيدروكسى بيوتيريك والأسيتون أو الخلون .

وقد وجد أن كل جزىء من الجلوكوز يتأكسد بالجسم يساعد أكسدة جزيئين من الأحماض الدهنية أكسدة تامة . أى إلى درجة ثانى أكسيد كربون وماء . وعلى ذلك إذا أردنا أن نمنع تراكم هذه الأجسام الخلونية بالجسم يجب أن نقدم إليه جزيئا من الجلوكوز على الأقل لكل جزيئين من الأحماض الدهنيـة .

ويسمى الجلوكوز أو ما يولد الجلوكوز بالجسم بالأجسام المضادة للخلونات . وتسمى الأحماض الدهنية أو ما يولدها بالجسم بالأجسام المولدة للخلونات . وعليه كى نمنع تراكم الخلونات يجب ألا تزيد نسبة $\frac{\text{المولدة للخلونات}}{\text{المضادة للخلونات}}$ عن ٢ $\left(\frac{\text{Ketogenic}}{\text{Antiketogenic}}\right)$. وتراكم هذه الأحماض الخلونية بالجسم كما سبق أن ذكرنا مضر إذ أن هذه الأحماض تزيد من حموضة الدم . وفضلا عن ذلك فهى سامة وخصوصاً حامض أسيتو أسيتيك وتسبب هبوطاً بالجهاز العصبى يؤدى إلى الغيبوبة والوفاة . وقد قارن أنرپ والباجورى التأثير النسبى للأجسام الخلونية على عضلة القلب ووجدا أن حامض أسيتو أسيتيك يضعفها أكثر من الجسمين الآخرين .

وأما المواد التى تولد الأحماض الخلونية فهى :

١ — الأحماض الدهنية .

٢ — بعض الأحماض الأمينية مثل تيروزين وفينيل ألانين وليوسين

فأما المواد المضادة فهى :

١ — مائيات الكربون .

٢ — ٥٨ ٪ من جزىء البروتين[١] .

٣ — ١٠ ٪ من جزىء الدهن ، أى ما يحويه من الجليسيرول .

وتزيد النسبة على ٢ وتتراكم الخلونات بالدم فى الأحوال الآتية :

١ — وقت الصيام . لأنه لا يوجد بالجسم مقادير كافية من مائيات الكربون

٢ — عند تعاطى طعام محتو على مقادير كبيرة من الدهن وقليلة جدا من مائيات الكربون .

٣ — فى مرض البول السكرى . لأن الجسم لا يؤكسد مائيات الكربون بكميات كافية .

---

(١) نظرا للشك الذى يحوم الآن حول نسبة $\frac{\text{الجلوكوز}}{\text{الازوت}}$ فى بول الصائم المريض بالديابيتس (ص ٢٤٠) قد أصبحت نسبة البروتين التى يمكن تحويلها إلى جلوكوز غير مؤكدة .

وقد قدمنا بعض الأدلة على أن الأحماض الخلونية يتكون معظمها فى الكبد إن لم يكن منها .

ويمكن تلخيص أكسدة الأحماض الدهنية بالجسم كالآتى :

تمر الأحماض الدهنية من المخازن إلى الدم إلى الكبد حيث تنقص درجة تشعبها وتتحول إلى فسفوليپيد ثم تتم أكسدتها بوساطة الأنسجة و تكون الأكسدة مصحوبة بتكسير ذرتين من الكربون وفصلهما من الجزىء . ويستمر ذلك إلى أن نصل إلى الأحماض الخلونية المحتوية على أربع ذرات من الكربون . ولا تتأكسد هذه الا إذا صحبت أكسدة مائيات الكربون وإلا تراكمت فى الدم . وربما كان الكبد هو المكان الوحيد لتكوين الأحماض الخلونية .

(٤) تحويل الدهن إلى مائيات الكربون

يمكن الجسم أن يحول الجليسيرول الموجود بالدهون إلى جلوكوز .

وأما بخصوص الأحماض الدهنية نفسها فليس معروفا تماماً إذ أن هناك أدلة تثبت إمكان حدوث ذلك وأخرى تثبت العكس . ويمكن تفسير هذا التناقض باستعمال حيوانات مختلفة بوساطة البحاثين المختلفين للحصول على الأدلة . فمثلا وجد أن فى الحيوانات التى تنام شتاء — كالضفادع — يجوز تحويل الأحماض الدهنية إلى مائيات الكربون وقت النوم الشتوى وذلك لأن معامل التنفس فى هذه المدة ينقص كثيراً عن ٠٫٧

هذا وقد وجد أيضاً أنه إذا أعطيت الأحماض الدهنية للحيوان الصائم أللابنكرياسى أو المحقون بالفلوردزين فلا تتأثر نسبة $\frac{\text{الجلوكوز}}{\text{الازوت}}$ بالبول . ويؤخذ ذلك دليلا أن الأحماض الدهنية لايمكن أن تتحول فى الجسم إلى مائيات الكربون (أنظر أيضا صفحة ٢٤٠) .

وهناك عدة أدلة أخرى فى مثل هذا التناقض مما يجعلنا لايمكننا أن نجزم

الآن بإمكان تحويل الأحماض الدهنية إلى جلوكوز بالجسم من عدمه ولو أن تقدير معامل التنفس فى كثير من حالات مرض البول السكرى فى الإنسان فى السنوات الأخيرة قد يثبت إمكان هذا التحويل. فقد وجدمعامل التنفس حوالى ٠,٧ أو أقل مع أن أكسدة الجلوكوز لاتختفى تماما فى مرض البول السكرى بل تقل فقط .

(٥) صناعة دهن اللبن

يوجد باللبن حوالى ٣,٧ ٪ من الدهن ويتكون معظمه من ثلاثيات الجليسرول ، ثلاثى البالميتين وثلاثى الاستيارين وثلاثى الأولين ، ويحتوى على مقادير قليلة من ثلاثيات الجليسرول التى تحتوى على الأحماض الدهنية الصغيرة . ويوجد به بعض من الليسيثين والكوليسترول . ويشتق دهن اللبن من ثلاثيات الجليسرول الموجودة بالدم . وقد كان يظن أولا أنه يشتق من فسفوليپيد الدم ولكن هذا الرأى لم يدعم بتجارب . وقد أمكن التأثير كثيراً على دهن اللبن بوساطة نوع الدهن فى الطعام . فبإعطاء أحماض دهنية خاصة بكثرة فى الطعام ظهرت فى دهن اللبن وقد سبق أن رأينا مثل هذا التأثير على دهن المخازن . وقد يكون دهن الطعام ذا رائحة أو طعم خاص فتنتقل الرائحة والطعم إلى اللبن . وكما يظهر جلياً فإن لهذه التجارب أهمية خاصة فى تغذية مواشى اللبن .

(٦) إخراج الدهن من الجسم

يحتوى البراز دائماً على مقادير كبيرة من الأحماض الدهنية وثلاثيات الجليسرول ويشتق معظم دهن البراز من إفرازات الأمعاء . وليس مما يتبقى من دهن الطعام بعد الامتصاص (ص ١١٠) . وقد يكوّن الدهن وقت

الصيام ثلث الوزن الجاف للبراز. وفى الحالات التى يختل فيها هضم وامتصاص الدهن يمر بالبراز كثير من دهن الطعام.

ولا يوجد عادة دهن أو فسفوليپيد فى البول ولكن قد يظهر الفسفوليپيد فى البول فى أحوال مرضية. ويخرج بعض الدهن من الجسم عن طريق الجلد فى إفرازات الغدد الدهنية الجلدية (Sebaceous glands). وهى تعطى الجلد نعومة وتحفظه من أن يجف بفعل الجو وتوجد معظم الأحماض الدهنية التى فى دهن إفراز غدد الجلد الدهنية متحدة مع الكحولات العالية مثل الكوليسترول وليست مع الجليسرول. ولوجودها بهذا الشكل فائدة عظيمة من حيث أنها تحفظ الجلد إذ أنها لاتصلح لنمو الجراثيم ولا تتعفن وفضلا عن ذلك فإسترات الكوليسترول تمتص مقادير كبيرة من الماء وتمنع جفاف الجلد.

الباب الحادى والعشرون

التمثيل الغذئي للكوليسترول

(Cholesterol Metabolism)

يعتبر الكوليسترول من ضمن الدهنيات نظراً لأنه يذوب فى مذيبات الدهون. ولكن للكوليسترول تركيباً كيميائياً وربما وظائف مختلفة عن الدهنيات الأخرى. ويمثل الكوليسترول الإستيرولات التى توجد فى الخلايا الحيوانية، ورمزه الكيميائى $ك_{٢٧} يد_{٤٥}$ ا يد، وقد دلت الأبحاث الحديثة على أن الكوليسترول الحيوانى يحتوى فى الواقع على مركبين أو أكثر من الإستيرولات، تختلف عن بعضها فى درجة حرارة انصهارها وفى مقدرتها فى امتصاص الأشعة الفوق البنفسجية وغير ذلك من الخواص. ولذلك يستحسن الآن أن يطلق على الكوليسترول اسم الإستيرول الحيوانى. ويوجد بالكوليسترول مجموعة ا يد الكحولية تمكنه من تكوين إسترات مع الأحماض الدهنية.

هضم وامتصاص إسترات الكوليسترول : تتحلل إسترات الكوليسترول بوساطة عصائر البنكرياس والأمعاء الدقيقة إلى أحماض دهنية وكوليسترول ويحدث ذلك بوساطة خميرة تسمى كوليسترولیز (cholesterolase). [ثانهاوزر (Thannhauser)] ويلزم لعمل الخميرة أن تكون إسترات الكوليسترول مذابة أو على هيئة مستحلب فى الدهينات الأخرى ويمتص الكوليسترول من الأمعاء الدقيقة بمقادير قليلة إلا إذا وجدت كميات كافية من الأحماض الدهنية. وتساعد أملاح الصفراء امتصاص الكوليسترول لأنها تزيد ذوبانه فى محتويات الأمعاء. ويتحد بعض الكوليسترول مع

الأحماض الدهنية ثانية وقت الامتصاص مكوناً إسترات الكوليسترول . ويمتص معظم الكوليسترول فى الأوعية اللمفاوية . وقليل منه يمتص إلى الدم مباشرة فى الوريد البابى .

ويوجد الإرجوستيرول أو الاستيرول النباتى غالباً فى أنسجة الحيوان مع الكوليسترول . وأما الاستيرولات النباتية الأخرى فلم يمكن الحصول عليها من أنسجة الحيوان مما يدل على أنها لا تمتص من الأمعاء .

وجود الكوليسترول بالجسم : الكوليسترول مركب أساسى فى جميع أنسجة الجسم وسوائله . ويوجد إما بحالته المطلقة وإما متحداً على هيئة إسترات . وتتغير كمية الكوليسترول الكلية فى الأنسجة كما تتغير نسبة الكوليسترول المطلق إلى الكوليسترول المتحد بعوامل كثيرة — فسيولوجية ومرضية — وأما كمية الكوليسترول المطلق فى الأنسجة فتبقى ثابتة . ويوجد الكوليسترول فى إفراز الصفراء بحالته المطلقة فقط وتتغير كميته فى الصفراء تبعاً لنسبته فى الدم . ويوجد معظم الكوليسترول فى كرات الدم بحالته المطلقة . وأما فى البلازما فأكثر من نصفه يكون متحداً ومكوناً إسترات . وأغنى أعضاء الجسم بالكوليسترول هما المخ والغدة فوق الكلية ويوجد معظم كوليسترول المخ بحالته المطلقة .

وإذا أخذ الكوليسترول بمقادير كبيرة فى الطعام زادت كميته كثيراً فى الأنسجة جميعها ماعدا المخ . وكانت الزيادة على هيئة إسترات الكوليسترول وزيادة كمية الكوليسترول فى الطعام تدعو إلى زيادة كبيرة جداً فى ثلاثيات الجليسيرول فى الكبد فضلا عن زيادة إسترات الكوليسترول (ص٢٦٦) . وتدعو أيضاً إلى تصلب فى الشرايين . وتدل هذه التجارب على أن مقدرة الجسم فى استعمال الكوليسترول محدودة . وربما ظهر لهذه التجارب فائدة طبية فيما بعد .

صناعة الكوليسترول بالجسم : يقدر الجسم أن يصنع الكوليسترول فى حالة غيابه من الطعام ويستدل على ذلك بما يأتى :

١ — كمية الكوليسترول والكوبروستيرول فى البراز تكون غالباً أكثر من كمية كوليسترول الطعام .

٢ — يستمر إخراج الكوليسترول من الجسم حتى لو كان الطعام فقيراً جداً به أو خالياً منه .

٣ — تكوّن كميات كبيرة من الكوليسترول فى بيض الطيور مع أن الطعام قد يكون خالياً منه .

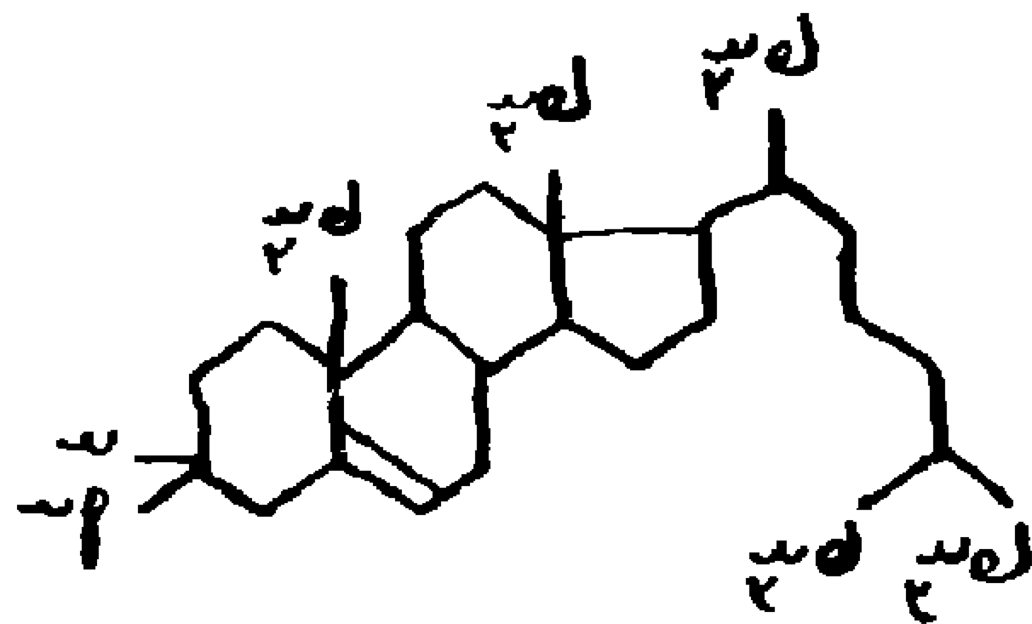
وظائف الكوليسترول : ١ — الكوليسترول مركب أساسى فى البروتوبلازم ولكن للآن لا يعرف على وجه التأكيد الدور الذى يقوم به .

٢ — قد يكون لوجود الكوليسترول فى أغشية الخلايا أهمية من حيث الخواص الطبيعية الكيميائية لهذه الأغشية ومن حيث حفظ كيان الخلية . فمثلا إذا مزج سم الثعبان (Cobra venom) مع الفسفوليپيد — ليسيثين — فقد الليسثين جزىء الحامض الدهنى الغير المشبع الذى به وبقى ليسوليسيتين (lysolecithin) . وهذا يحتوى على جزىء واحد من الحامض الدهنى المشبع وله مقدرة كبيرة جداً على تحليل كرات الدم الحمراء (Haemolysis) . فتتحلل جدرانها وتذوب محتوياتها فى البلازما . والكوليسترول يعادل عمل الليسوليسيثين باتحاده معه ويمنع تحليل كرات الدم الحمراء .

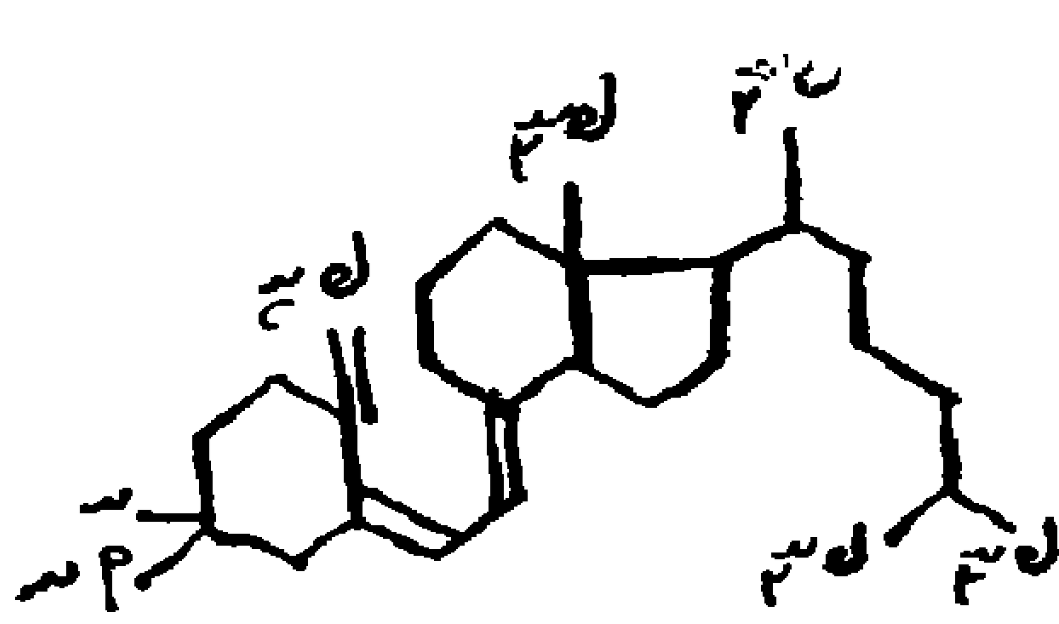
٣ — يستدل بعضهم من زيادة إسترات الكوليسترول فى البلازما وقت امتصاص الدهن أو وقت استعمال الدهن بكثرة على أن الكوليسترول قد يشترك مع الفسفوليپيد فى عملية نقل الأحماض الدهنية بالجسم .

٤ — يشابه الكوليسترول فى تركيبه الكيميائى مركبات كثيرة فى غاية الأهمية بالجسم ، منها مركبات ڤيتامين د ، وهرمونات الغدد التناسلية وقشرة الغدة فوق الكلية وأحماض الصفراء . وقد يكون الكوليسترول مصدر

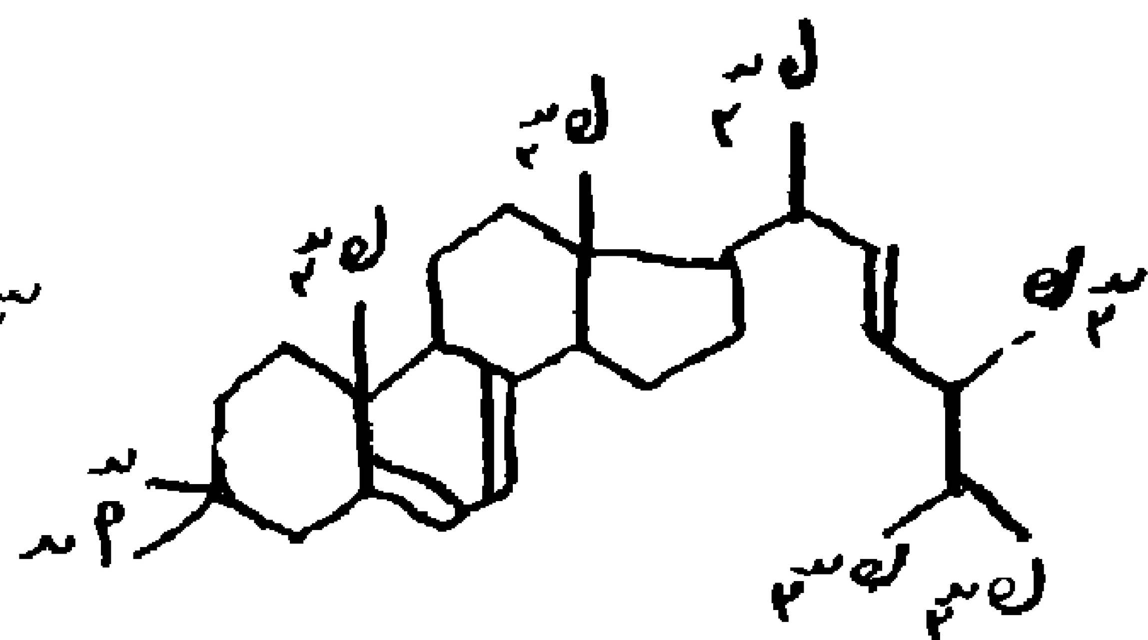
صناعة هذه المركبات بالجسم وتبين الرموز الآتيـة التركيب الـكيمائى للـكوليسترول ولهذه المركبات الهـــامة . وفضلا عن ذلك فقد يكون للـكوليسترول أهمية مرضية فقد وجد أيضاً أن كمية الـكوليسترول كبيرة فى نسيج السرطان (Cancer) وأن هناك بعض مواد تسبب سرطاناً إذا وضعت على الجلد أو إذا حقنت فى الفئران . وهذه المواد التى تولد السرطان (carcinogenic) تشابه الـكوليسترول أيضاً فى تركيبها الكيميائى .



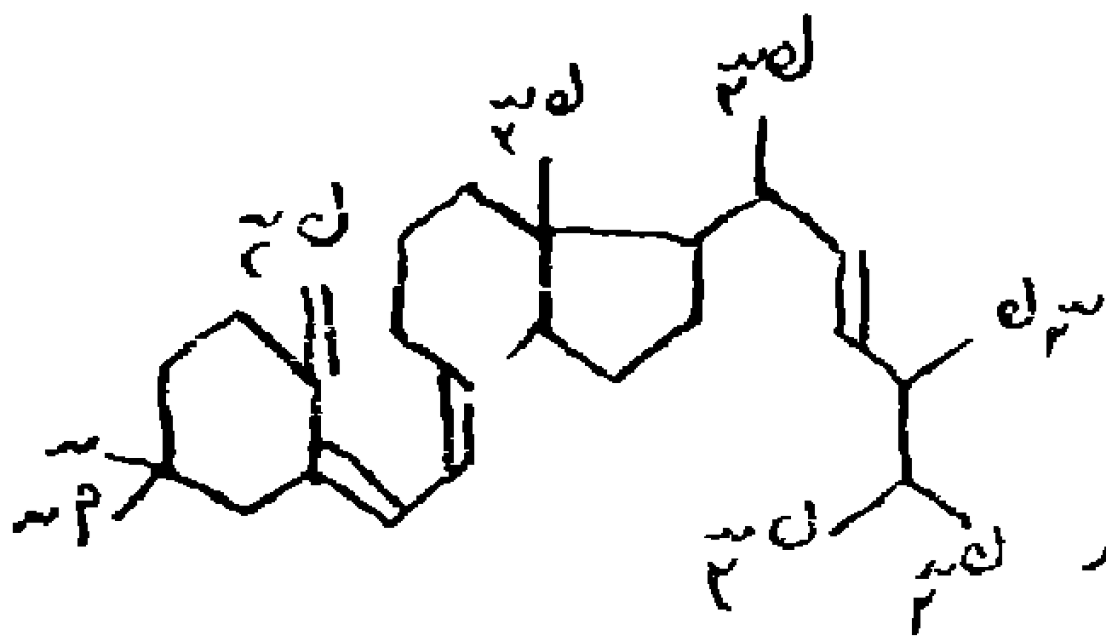
ڤيتامين د٣ ك٢٧ يد٤٣ ١ يد
(من الـكوليسترول)



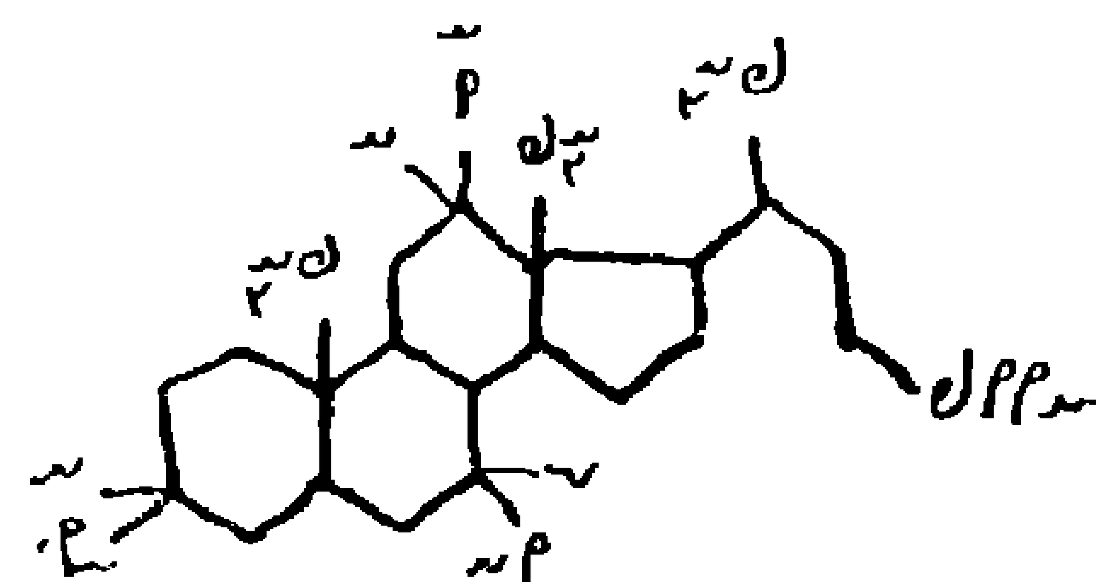
كوليسترول
ك٢٧ . يد٤٥ . ١ يد



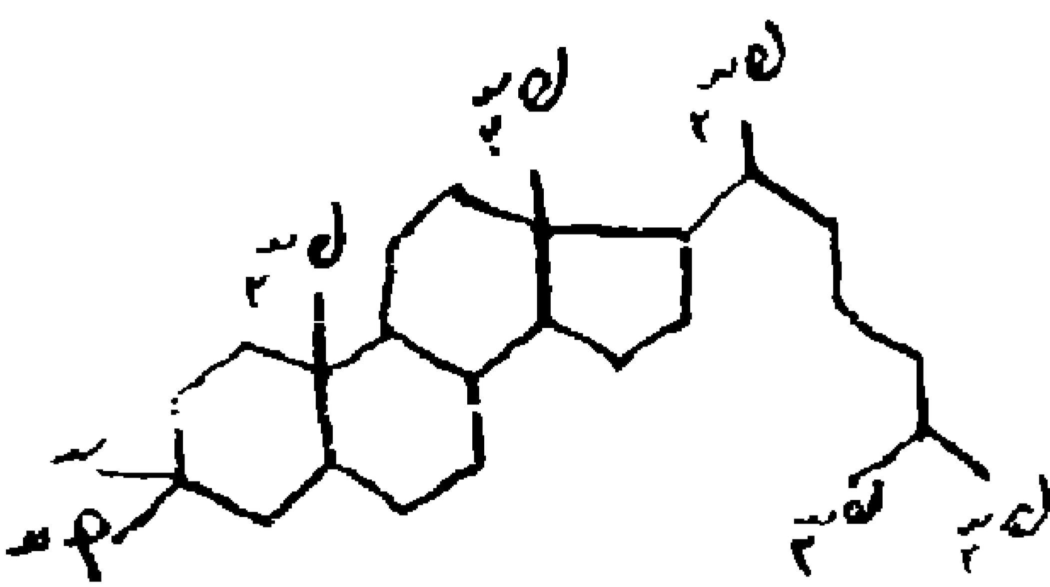
ارجوستيرول ك٢٨ . يد٤٣ . ١ يد



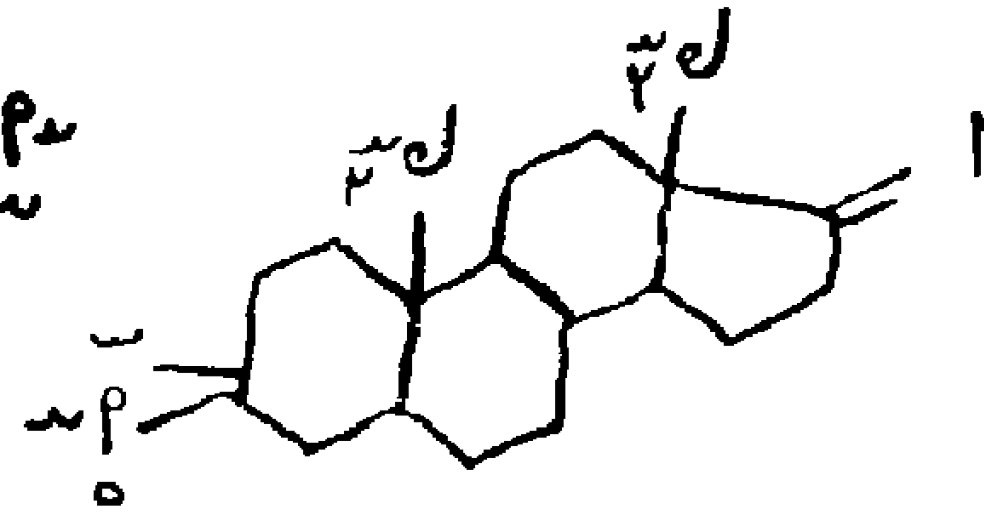
ڤيتامين د٢ ك٢٨ يد٤٣ . ١ يد
(من الارجوستيرول)



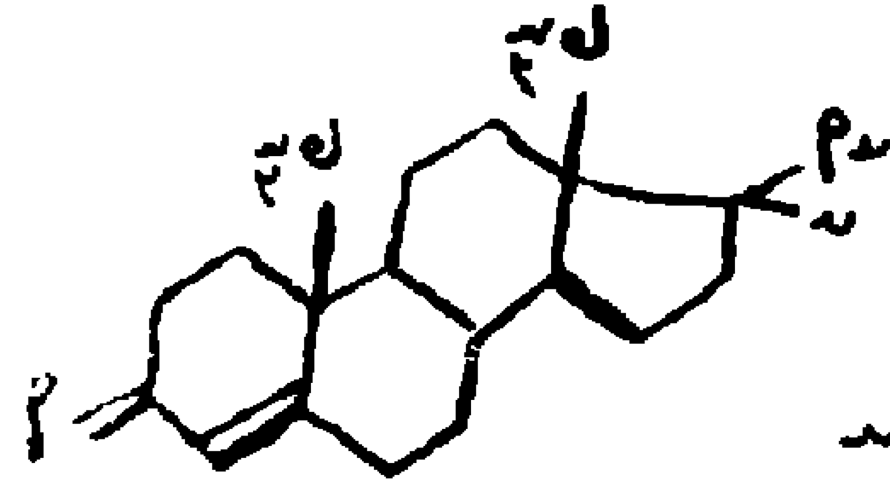
حامض كوليك ك٢٤ يد٤٠ أ٥



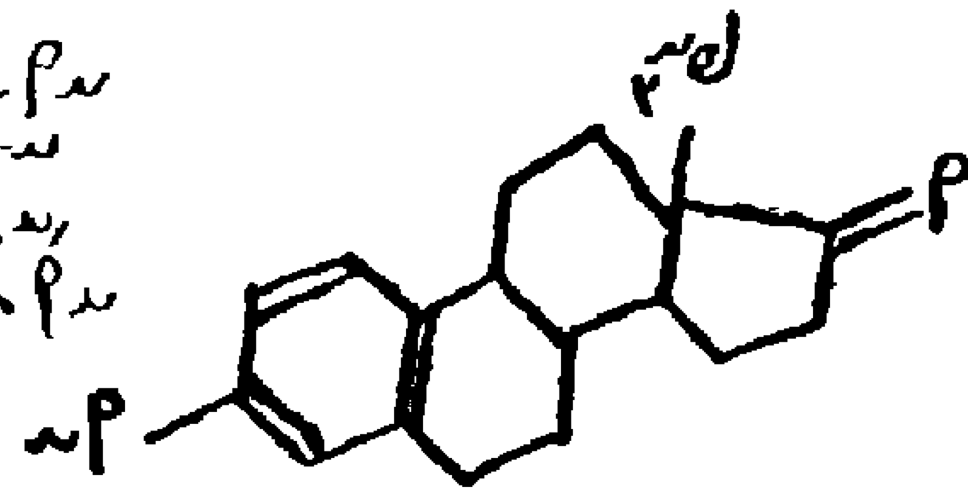
كوپروستيرول ك٢٧ . يد٤٧ . ١ يد



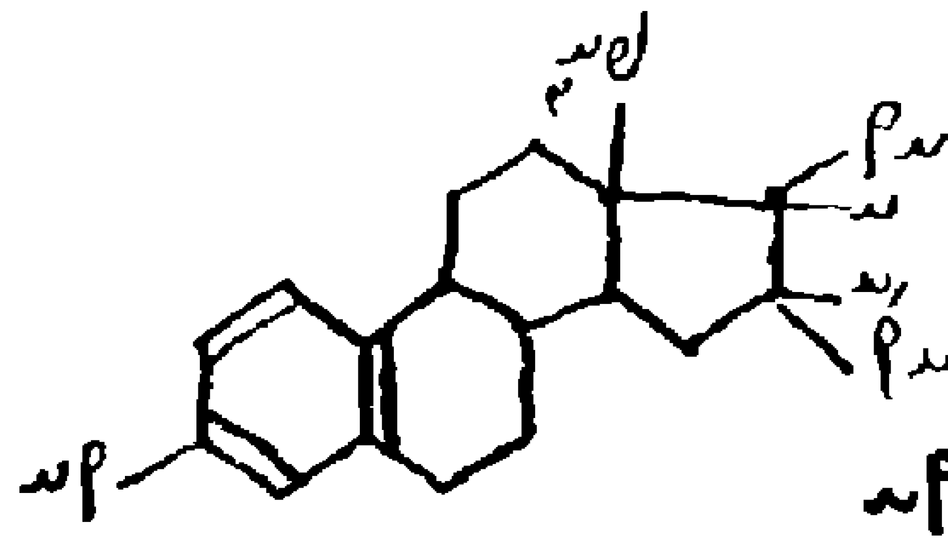
اندروستيرون ك١٩ يد٣٠ أ٢
(من بول الذكر)



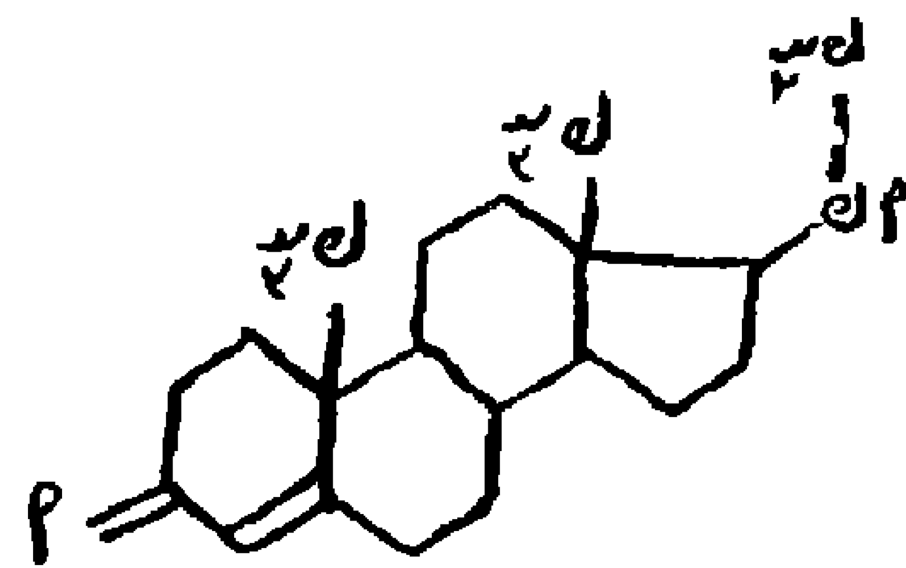
تستستيرون ك١٩ يد٢٨ أ٢
(من الخصيتين)



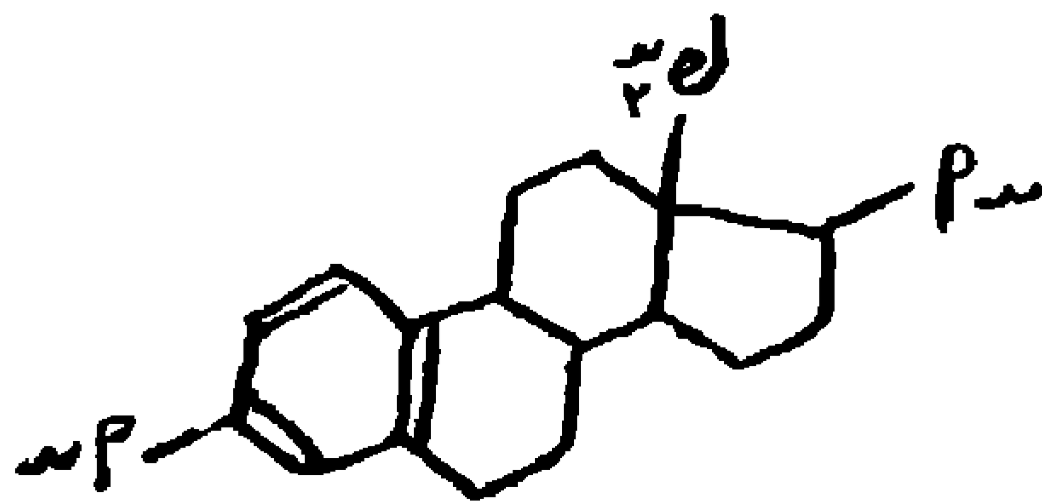
ايسترون ك١٨ يد٢٢ أ٢
(من بول الأنثى)



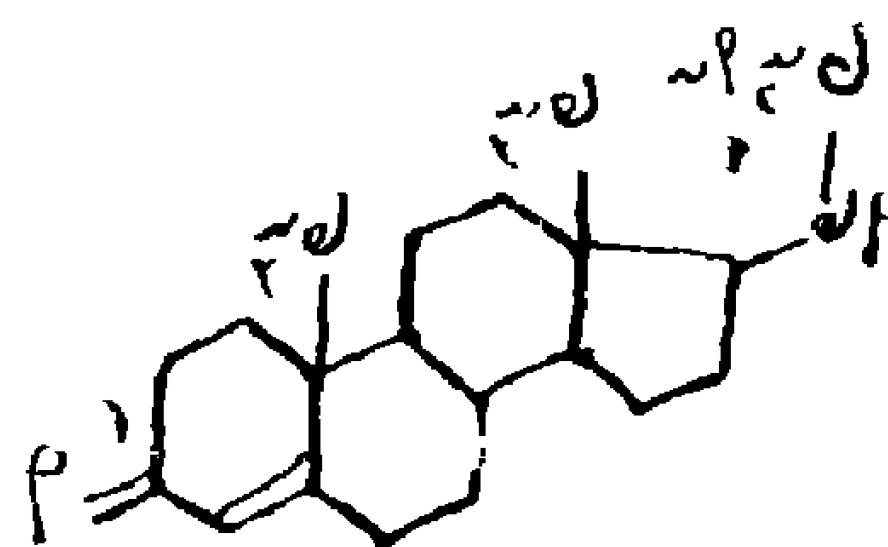
ايستريول ك١٨ يد٢٤ أ٣
(من بول الأنثى)



بروجستيرون ك٢١ يد٣٠ أ٢
(من الجسم الأصفر)



ايستراديول ك١٨ يد٢٤ أ٢
(من المبيض)



كورتين (؟) ك٢١ يد٣٠ أ٣
(من قشرة الأدرينال)

اخراج الكوليسترول من الجسم : يخرج الكوليسترول بحالته المطلقة فى الصفراء ثم يمتص بعضه فى الدم والبعض الآخر يخرج بالبراز . ويختزل بعض الكوليسترول فى طريقه إلى الخارج إلى كوبروستيرول . ويحتوى البول الطبيعى على كمية قليلة من الكوليسترول وتزداد هذه الكمية عنـــد زيادة الكوليسترول فى الطعام ، وقد توجد فى هذه الحالة رواسب من الكوليسترول فى الأنابيب الكلوية . ويوجد الكوليسترول متحداً مع الأحماض الدهنية فى إفراز غدد الدهن الجلدية (sebaceous glands) وهذا الإفراز كما ذكرنا آنفاً يمنع جفاف الجلد وتشققه إذ أن إسترات الكوليسترول تمتص مقادير كبيرة من الماء . وكذلك لا يصلح هذا الافراز لنمو الجراثيم فيبقى الجلد منها.

الباب الثانى والعشرون

التمثيل الغذائى الغير العضوى

(Inorganic Metabolism)

توجد الأملاح الغير العضوية فى جميع الأنسجة الحية . ويحتوى جسم الإنسان على ٤,٣ إلى ٤,٤ فى المائة من وزنه الكلى من الأملاح الغير العضوية. وهناك فرق أساسى بين التمثيل الغذائى لهذه الأملاح وبين التمثيل الغذائى للمواد العضوية ، فالأملاح الغير العضوية لا تتأكسد بالجسم ولا تكسبه طاقة ؛ فلا تدخل فى حساب الدخل أو الخرج الحرارى كالمركبات العضـــوية . ولكنها أساسية للبروتوبلازم ولخواصه الطبيعية الكيميائية . وإذا نقصت من الطعام سببت أعراضاً شديدة قد تؤدى إلى الوفاة . ويوجد بالجسم عدد كبير من المعادن . ولكن وظيفة كثير منها غير معروفة ، وربما وجد بعضها فى الجسم فقط نظراً لوجوده فى الطعام . وسنتكلم فى هذا الباب على أهم هذه المعادن .

(١) الصوديوم والبوتاسيوم والكلور

تمتص أملاح الصوديوم والبوتاسيوم من الأمعاء بسهولة . وفى الأحوال الطبيعية لا يوجد بالبراز إلا ١ إلى ٢ فى المائة فقط من الصوديوم الذى يؤخذ بالطعام و ٦ إلى ١٠ فى المائة فقط من البوتاسيوم . وربما كان بعض ذلك ناتجا من إفرازات الأمعاء وليس مما يتبقى من الطعام . وأما الباقى كله فيمتص ويفرز بوساطة الكلى فى البول . ولكن فى أحوال الإسهال يقل امتصاص هذين المعدنين . وتحتوى معظم الأغذية النباتية أو الحيوانية على كمية من

من البوتاسيوم أكثر جداً من كمية الصوديوم . ولكننا نضيف كثيراً من كلورور الصوديوم إلى الطعام عند تحضيره .

وقد وجد أنه يجب أن يحتوى الطعام على هذين المعدنين . ففى تجارب على الفئران وقف النمو أو قل عند ما احتوى الطعام على أقل من ٠٫٣٪ من الصوديوم و٠٫١٪ من البوتاسيوم . ولكننا بحسب العادة نأخذ من كلورور الصوديوم مقادير أكثر مما يلزم للجسم . وليس هناك خوف من نقص البوتاسيوم فى الطعام إذ أن موادنا الغذائية تحتوى عليه بكثرة . إما متحداً مع أحماض عضوية أو على شكل أملاح غير عضوية ، ولا يجب أن تزيد نسبة الصوديوم أو البوتاسيوم فى الطعام فوق حد معين . فقد وجد أنه إذا تعاطى الشخص السليم من ٣٥ إلى ٤٠ جراماً من كلورور الصوديوم يومياً تسبب عن ذلك الأوذيما [١] (œdema) . وتظهر الأعراض عند تعاطى مقادير أقل من هذه فى حالات أمراض الكلى أو القلب . وقد وجد أن مقادير كبيرة من كلورور البوتاسيوم — مثل ٢٥ جراماً يومياً — قد تحتمل لعدة أيام ولكن فى أحوال كثيرة سببت مقادير أقل من هذه الأسهال . وفى المرضى بالقلب سببت أعراضاً شديدة بالدورة الدموية . مما تقدم نستنتج أن الجسم يمكنه أن يأخذ فى الغذاء مقادير مختلفة إلى حد ما وخصوصاً من كلورور الصوديوم دون أن يؤدى ذلك إلى خلل فى وظائفه . وسبب ذلك أن الكلى تستطيع أن تفرز جراماً واحداً من الملح أو أربعين جراماً يومياً حسب ما يؤخذ بالطعام وبذا تبقى نسبة الملح فى الجسم ثابتة وأما إذا اختلت وظيفة الكلى فيجب الإقلال من ملح الطعام بقدر الإمكان .

ب **توزيع الصوديوم والبوتاسيوم فى الجسم** : تكوّن أملاح الصوديوم

(١) الأوذيما هى زيادة كمية السوائل المرشحة من الدم فى الأنسجة . وتسبب هذه الزيادة تورم العضو بالماء وقد تتلف الخلايا من الضغط الناشىء عن ذلك . وإذا حدثت الأوذيما بالمخ تسبب عنها صداع شديد وربما تشنجات عضلية (convulsions)

والبوتاسيوم الجزء الأكبر من الضغط الأوزموزى لسوائل الجسم وأنسجته . ولما كان هذا الضغط متساوياً فى كل أنسجة الجسم وسوائله ، كانت كمية أيونات الصوديوم والبوتاسيوم على وجه التقريب موزعة بين أنسجة الجسم بحسب وجود الماء فى كل منها . ولكن تختلف نسبة البوتاسيوم/الصوديوم من نسيج إلى آخر كما تختلف النسبة فى نفس الأنسجة من حيوان إلى آخر . فبينما يكوّن الصوديوم ٩٣ فى المائة من الأيونات المعدنية فى البلازما فى الإنسان فإنه لا يوجد فى كرات الدم الحمراء حيث يكوّن البوتاسيوم معظم الأيونات المعدنية بدلا منه . وأما فى الأنسجة فيكثر الصوديوم فى السوائل التى بين الخلايا فى حين يكثر البوتاسيوم بداخل الخلايا . كما يتبين من جدول (٩) . ويوجد معظم الصوديوم والبوتاسيوم بالجسم متأينا (ionised) على شكل كلورور الصوديوم وكلورور البوتاسيوم ؛ ولكن فى العظام يدخلان فى تركيب رواسبه الصلبة .

جدول (٩) عن بيترز وفان سلايك

	سيرم الدم ملليجرام فى كل ١٠٠ سم^3	كرات الدم ملليجرام فى كل ١٠٠ سم^3	سائل الاوذيما ملليجرام فى كل ١٠٠ سم^3	العضلات ملليجرام فى كل ١٠٠ جم
الصوديوم	٣٠٨	٣٧,٩	٣٣٧	٧٩,٩
البوتاسيوم	١٨,٣	٣١٣,٠	٨	٣٢٠,١
الكالسيوم	١٠,٠	٠,٠	٩,٦	٧,٥
المغنسيوم	٢,٠	٤,٨		٢١,٢

ويحتفظ الجسم بنسبة الصوديوم والبوتاسيوم التى به وذلك كما قلنا لأن الكلى تفرز بالبول مقادير مماثلة لتلك التى توجد بالطعام . وينظم الهرمون كورتين الذى يفرز بوساطة قشرة الغدة فوق الكلية التمثيل الغذائى للصوديوم

والبوتاسيوم . وفى غياب هذا الهرمون يزداد إفراز الصوديوم بالبول وتقل نسبته فى الدم فى حين تزداد نسبة البوتاسيوم والكالسيوم والفوسفات والأزوت الغير البروتيني بالدم ، ويصحب ذلك تغييرات أخرى وأعراض شديدة مميتة منها نقص الشهية والقيء والإسهال والضعف والهبوط الجسمى ونقص فى درجة حرارة الجسم وفى سرعة التمثيل الغذائى القاعدية .

وظائف الصوديوم والبوتاسيوم والكلور بالجسم: ١ — يتسبب معظم الضغط الأوزموزى لأنسجة وسوائل الجسم من أيونات الصوديوم والبوتاسيوم والكلور . والضغط الأوزموزى أساسى كى تتمكن الخلايا من أن تقوم بوظائفها .

٢ — ولا يتوقف تأثير عمل الصوديوم والبوتاسيوم على أنهما يكونان الجزء الأكبر من الضغط الأوزموزى للدم والأنسجة فقط . إذ أنه لو مررنا بقلب الضفدعة المفصول منها (isolated perfused heart) محلولا من سكر القصب له نفس الضغط الأوزموزى للدم وقف نظم القلب (cardiac rhythm) فى حين أنه لو كان المحلول الذى يمرر بالقلب يحتوى على الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم بنفس النسب التى توجد فى بلازما الحيوان يستمر القلب فى عمله عدة ساعات . ومع أن هذه القواعد لا تستعمل بأى حال من الأحوال كغذاء للقلب إلا أن وجودها بنسب مخصوصة أساسى كى يقوم القلب بدقات منتظمة . وهناك تجارب أخرى عديدة تثبت أن هذه القواعد لازمة أيضاً لعمل بقية أعضاء الجسم كالعضلات والغدد .

٣ — الصوديوم والبوتاسيوم أهم القواعد التى تحفظ تفاعل الدم ثابتا . فقد رأينا أن كثيراً من عمليات التمثيل الغذائى تؤدى إلى تكوين أحماض قوية بالجسم . فأكسدة الكربون تولد ثانى أكسيد الكربون الذى يتحول إلى حامض الكربونيك . والتمثيل الغذائى للبروتين يولد حامض الكبريتيك وحامض الفوسفوريك بمقادير كبيرة . ويتكون حامض اللبنيك فى العضلات

وكذلك فى أحوال غير طبيعية تتراكم الأحماض الخلونية . ويعادل الصوديوم والبوتاسيوم هذه الأحماض ويمنعانها من زيادة تركيز الإيدروچين بالدم . وذلك لأن بعض الصوديوم والبوتاسيوم يوجد بالجسم متحداً مع حامض الكربونيك على شكل بيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم أو مع أحماض عضوية ضعيفة مثل الهيموجلوبين وبروتين البلازما وبروتين الأنسجة . فعند ما يمر الدم بالأنسجة ويأخذ منها ثانى أكسيد الكربون يتحول ثانى اكسيد الكربون إلى حامض الكربونيك ولكن هذا الحامض لا يترك بالدم بحالته المطلقة ليؤثر على أسه الإيدروچينى إنما يتعادل بالصوديوم والبوتاسيوم المتحدين مع الأحماض العضوية الضعيفة كما يرى من المعادلة الآتية :

حامض الكربونيك + هيموجلوبينات البوتاسيوم = بيكربونات البوتاسيوم + حامض الهيموجلوبينيك .

وحامض الهيموجلوبينيك حامض ضعيف التأين ولا يؤثر فى الأس الإيدروچينى إلا قليلا .

وكذلك إذا أضيف إلى الدم حامض أقوى من حامض الكربونيك مثل حامض اللبنيك تعادل مع بيكربونات الصوديوم كما يرى من المعادلة الآتية :

حامض اللبنيك + بيكربونات الصوديوم = لاكتات الصوديوم + حامض الكربونيك .

وأما حامض الكربونيك المتكون فلا يترك بالجسم بل يخرج مباشرة فى هواء الزفير .

ولهذه الأسباب قد سميت مقادير بيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم التى توجد فى الدم الشريانى باحتياطى القواعد (alkali reserve) نظراً لأنها فى الواقع مخزن للقواعد بالجسم تتحد مع الأحماض القوية التى تتكون به وتمنع ضررها . وسنتكلم عنها بالتفصيل فى الجزء الثانى (باب حفظ تفاعل الدم) .

٤ — يصنع حامض الكلوردريك الذى تفرزه المعدة من كلورور الصوديوم الموجود فى البلازما (ص ٧٠) .

(٢) الكالسيوم

الكالسيوم أحد المعادن الأساسية للجسم . ويحتاج الشخص البالغ من ٠٫٦٥ من الجرام إلى جرام واحد من الكالسيوم فى اليوم . وأهم مصادر الكالسيوم فى الطعام هى اللبن والجبن والخضروات . ويوجد الكالسيوم فى الطعام فى مركبات عضوية وأخرى غير عضوية . وتتحول المركبات العضوية إلى أملاح غير عضوية فى القناة الهضمية قبل امتصاصها . ويقوم حامض الكلوردريك بالمعدة بهذه الوظيفة .

امتصاص الكالسيوم : يحدث الامتصاص فى الأمعاء الدقيقة وخصوصاً فى جزئها العلوى ، ويكون امتصاص الكالسيوم فى الإنسان ناقصاً ؛ فيخرج حوالى ٧٠ فى المائة من كالسيوم الطعام فى البراز . وبعض كالسيوم البراز يمثل كالسيوم الطعام الذى لم يمتص وبعضه يمثل الكالسيوم الذى تخرجه الأمعاء الغليظة من الدم . ويتوقف امتصاص الكالسيوم من الأمعاء على عدة عوامل منها :

١ — نوع الطعام : وجد شرمان (Sherman) أن الكالسيوم الموجود باللبن يمتص بسهولة عن الكالسيوم الموجود بالخضروات .

٢ — تفاعل محتويات الأمعاء : كلما زادت حموضة محتويات الأمعاء زاد امتصاص الكالسيوم . وذلك لأنه إذا كان التفاعل حامضياً تحول الكالسيوم فى الأمعاء إلى فوسفات الكالسيوم الحمضى — كايد فو ا٤ — ($CaHPO_4$) وهو يذوب بسهولة . أما إذا كان التفاعل قاعدياً تحول الكالسيوم إلى فوسفات ثلاثى الكالسيوم — كا٣(فو ا٤)٢ — [$Ca_3(PO_4)_2$] وإلى كربونات الكالسيوم — كا ك ا٣ — وهذه الأملاح تترسب ولا تذوب .

٣ — كمية الفوسفات : كلما زادت كمية الفوسفات فى الأمعاء قل امتصاص الكالسيوم . وذلك لتكوين فوسفات ثلاثى الكالسيوم .

٤ — كمية الدهن فى الطعام : يقال أنه إذا زادت كمية الدهن فى الطعام قل امتصاص الكالسيوم . وذلك لتكوين صابون من الكالسيوم والأحماض الدهنية . وهذا الصابون لا يذوب . ولكن فى الغالب لا تكون لمحتويات الأمعاء الدرجة الكافية من القاعدية لتكوين الصابون (ص ٥٤٢) . ولو أنه تجريبيا قد وجد أن كثرة الدهن فى الطعام تقلل امتصاص الكالسيوم وتزيد كالسيوم البراز .

٥ — وجود الڤيتامين د : يساعد وجود الڤيتامين د فى الطعام امتصاص الكالسيوم ، وكيفية عمل الڤيتامين غير معروفة .

وإذا أخذت كمية كبيرة من أحد أملاح الكالسيوم الذائبة ارتفعت نسبة الكالسيوم فى البلازما ؛ ويصل الارتفاع إلى قمته فى مدة ساعتين ثم ينخفض ثانية تدريجاً إلى مستواه الأصلى فى ظرف خمسة ساعات من تناول الكالسيوم . ولا يمكن أن تزداد نسبة الكالسيوم فى الدم بصفة دائمة بتعاطى أملاح الكالسيوم فى الطعام .

التوازن الكالسيومى (Calcium equilibrium) : يكون الشخص فى توازن كالسيومى إذا كانت كمية الكالسيوم التى يأخذها فى الطعام مساوية لكمية الكالسيوم التى تخرج من الجسم فى البول والبراز . والشخص البالغ السليم الذى يتعاطى مقادير كافية من الكالسيوم فى الطعام يكون فى توازن كالسيومى .

وأما إذا زادت كمية الكالسيوم فى الطعام عن الكمية التى تخرج من الجسم فيسمى الشخص فى ميزان كالسيومى موجب (Positive calcium balance) ويحدث ذلك عادة فى حالات النمو والحمل . وقد يحدث فى الأشخاص البالغين عند ما تنقص كمية الكالسيوم فى الجسم أثر نقصه من الطعام لمدة من الزمن . فإذا أعطى الكالسيوم بمقادير كافية فى الطعام بعد ذلك عوض الجسم ما فقده من الكالسيوم فى مدة الصيام . وكذلك يحدث فى مرض طول العظام (achromegaly) .

ويكون الشخص فى ميزان كالسيومى سالب (Negative calcium balance). إذا قلت كمية الكالسيوم فى الطعام عن الكمية التى تخرج من الجسم . ويحدث ذلك فى مرض كساح الأطفال (richets) وكساح البالغين . وفى زيادة عمل الغدة الدرقية والغدة الدرقية الجانبية وفى الصيام الكلى أو الجزئى للكالسيوم . وغالباً ما يوجد فى حالات الرضاعة .

توزيع الكالسيوم بالجسم : يكوّن الكالسيوم حوالى ٢ فى المائة من الوزن الكلى للرجل البالغ و٩٧ ./. من هذا الكالسيوم موجود فى العظام . ويوجد بالعضلات حوالى ٨ ملليجرامات فى كل ١٠٠ جم ويحتوى سيرم الدم على ٩ إلى ١١,٥ ملليجراما من الكالسيوم فى كل ١٠٠ سم٣ . ولا يوجد الكالسيوم بتاتا فى كرات الدم الحمراء . ويوجد الكالسيوم فى سوائل الجسم المختلفة بمقادير أقل من الموجودة بالسيرم .

كالسيوم الدم : يوجد كل كالسيوم الدم فى البلازما فالكرات الحمراء خالية منه وإذا تجلط الدم كان كل الكالسيوم تقريبا فى السيرم ولا تحتوى الجلطة إلا على آثار قليلة منه .

ويوجد كالسيوم السيرم على شكلين :

١ — كالسيوم قابل للانتشار (diffusible) وكميته حوالى ٥ إلى ٦,٥ ملليجراما فى كل ١٠٠ سم٣ من السيرم . وهذا الكالسيوم يمر من أغشية الخلايا والأغشية الحيوانية . ويمكن تقسيمه قسمين :

(أ) كالسيوم متأين (ionised) وهو حوالى ٤,٧٥ إلى ٦,٢٥ ملليجراما فى كل ١٠٠ سم٣ . ولهذا القسم تأثير فسيولوجى . ويسبب نقصه أو زيادته أعراضا بالجسم .

(ب) كالسيوم غير متأين . ويوجد على شكل يشابه سترات الكالسيوم (citrate-like compound) . وهو حوالى ٠,٢٥ من الملليجرامات فى كل ١٠٠ سم٣

٢ — كالسيوم غير قابل للانتشار (non-diffusible) وهو حوالى ٤ إلى ٥ ملليجراماً فى كل ١٠٠ سم٣ . وهذا الكالسيوم يوجد متحداً مع پروتين البلازما ولا يمر من أغشية الخلايا ولا يتأين إلا قليلا وليس له تأثير فسيولوجى .

هذا وهناك علاقة مهمة بين كمية الكالسيوم المتأين وكمية الكالسيوم المتحد مع البروتين . فهذان النوعان من الكالسيوم يوجدان فى الدم فى حالة توازن تبعا للمعادلة الآتية

$$\frac{[\text{پروتين}^{=}] \times [\text{كا}^{++}]}{[\text{پروتينات الكالسيوم}]} = ١٠^{-٢،٢٢}$$

وتدل هذه المعادلة عن أن العوامل التى تؤثر على أحدهما تؤثر على الآخر . فاذا قل الكالسيوم المتأين يتحول بعض كالسيوم البروتين إلى كالسيوم متأين كى يعود التوازن ثانية .

وهناك عدة عوامل تؤثر على كمية الكالسيوم فى السيرم وهى :

١ — إفراز الغـدة الدرقية الجانبية (Parathyroid hormone) فإذا استؤصلت الغدد الدرقية الجانبية من حيوان أدى ذلك إلى هبوط سريع فى نسبة الكالسيوم فى الدم ، فتصبح فى ظرف يوم أو يومين ٦ أو ٧ ملليجراماً فى كل ١٠٠ سم٣ بعد أن كانت من ١٠ — ١٢ ملليجراماً . وتزداد نسبة الفوسفات الغير العضوية فى البلازما . ويصحب هذا التغيير فى كالسيوم وفوسفات الدم أعراض شديدة . فتزداد سرعة القلب كثيراً ويزداد التنفس وتزداد درجة حرارة الجسم . وتزداد فزازة الجهـاز العصبى العضلى (neuromuscular irritability) ؛ فتحدث ارتعاشات خيطيـة غير إرادية بالعضلات (fibrillary twitches) وتشنجات عضلية وانقباضات مستمرة أو تيتنوسية (tetanic) وتسبب هـذه الانقباضات التيتنوسية المستمرة الاختناق والوفاة عند ما تحدث بعضلات التنفس والحنجرة .

وقد تستأصل هذه الغدد أيضاً فى الإنسان — كما يحدث فى عملية استئصال

الغدة الدرقية — وعندئذ تحدث أعراض مماثلة لتلك التى تحدث فى الحيوانات؛ ولكن الأعراض فى الإنسان غالباً تكون أقل حدة منها فى الحيوانات . وإذا حقنت أملاح الكالسيوم فى الوريد اختفت الأعراض ولكن لمدة مؤقتة . ولكن إذا حقنت جرعة واحدة من هرمون الغدة الدرقية الجانبية اختفت الأعراض لعدة أيام .

وإذا حقن الهرمون بمقادير كبيرة فى الكلاب فان نسبة الكالسيوم بالدم ترتفع ؛ وقد تصل إلى ٢٠ ملليجراماً فى كل ١٠٠ سم٣ ثم تنخفض قليلا بعد ذلك ، وقد لا تتأثر نسبة الفوسفات الغير العضوية بالپلازما فى اليوم الأول ولكنها ترتفع بعد ذلك . ويزداد إخراج الكالسيوم والفوسفات فى البول . وتزداد نسبة البوتاسيوم والمغنسيوم والأزوت اللاپروتينى فى الدم ويقل حجم الدم ، ويصحب هذه التغييرات أعراض شديدة تبدأ بضعف فى الشهية وبالقىء والإسهال وهبوط فى الجسم وزيادة فى حجم البول ثم تنتهى هذه الأعراض بحصول نزيف فى القناة الهضمية وقد يخرج الدم مع القىء أو مع البراز ثم يزداد هبوط الجسم وتختل وظيفة الكلى قبل الوفاة .

وتكون أعراض زيادة الهرمون فى الحيوانات آكلة الأعشاب أقل منها فى الكلاب وغالباً يحدث فى هذه الحيوانات ترسيب الكالسيوم فى أنسجة الجسم وخصوصاً فى الشرايين . ويشتق الكالسيوم الزائد فى الدم والذى يخرج من الجسم بكثرة عند زيادة الهرمون من العظام ، فتقل كمية الكالسيوم بها

٢ — الڤيتامين د : إذا حقن الڤيتامين د بمقادير كبيرة فى الجسم سبب ارتفاعا فى كالسيوم السيرم وفى الفوسفات الغير العضوية وسبب أعراضاً تشبه تماما تلك التى تنشأ من زيادة هرمون الغدة الدرقية الجانبية و يظن أن الڤيتامين د ينبه الغدة الدرقية الجانبية لافراز هرمونها ولو أنه ليس هناك دليل قاطع على ذلك .

٣ — كمية الفوسفات الغير العضوية فى الپلازما : إذا زادت كمية الفوسفات

الغير العضوية بالبلازما قل كالسيوم السيرم المتأين . وذلك لتكوين الفوسفات ثلاثى الكالسيوم الذى يترسب فى العظام أو يخرج من الجسم .

٤ — درجة تركيز أيونات الإيدروچين فى البلازما : كلما زادت حموضة البلازما زاد الكالسيوم المتاين . وفى حالات زيادة قاعدية البلازما تقل أيونات الكالسيوم ، وعند ما يزيد الأس الإيدرچينى عن ٧,٦ ($pH. > 7.6$) تحدث انقباضات مستمرة تيتنوسية كتلك التى تتولد من استئصال الغدة الدرقية الجانبية .

٥ — كمية بروتين البلازما : إذا قل بروتين البلازما قل كالسيوم السيرم ولا تؤثر كمية الكالسيوم التى تمتص من الأمعاء أى تأثير دائم على كالسيوم السيرم إذ أنه حتى فى حالة الصيام تبقى كمية الكالسيوم ثابتة مع أن الكالسيوم يخرج باستمرار فى البول والبراز . ويشتق كالسيوم السيرم فى الصيام من كالسيوم العظام .

وظائف الكالسيوم فى الجسم :

١ — تكوّن أملاح الكالسيوم معظم الأملاح الغير العضوية الموجودة بالعظام والأسنان . ويوجد الكالسيوم فى العظام على شكل فوسفات ثلاثى الكالسيوم وكربونات الكالسيوم مع مقادير قليلة من كلورور وفلورور الكالسيوم . وتوجد أدلة حديثة على أن هذه الأملاح توجد بالعظام والأسنان على شكل مركبات معقدة فمثلا قد يكون رمزها الكيميائى ٣ كا٣ (فو ا٤)٢ . كا ك ا٣ .

وليست العظام(١) — كما يظن لأول وهلة — نسيجاً ميتاً لا يقوم إلا بوظيفة ميكانيكية كهيكل للجسم فقط . ولكنها نسيج حى تجرى فيه باستمرار تفاعلات كيميائية تشترك فيها خلايا العظام . ويمكننا أن نعتبر العلاقة بين

(١) ليس المقصود هنا نخاع العظم الذى يقوم بوظائف هامة منها صناعة كرات الدم الحمراء وإنما المقصود هو جزء العظام الصلب .

كالسيوم العظام وكالسيوم السيرم كالعلاقة بين جليكوچين الكبد وسكر الدم. فعملية تحويل كالسيوم العظام إلى كالسيوم السيرم عملية مستمرة بالجسم وقد رأينا أنه فى حالة الصيام عن الكالسيوم تبقى نسبة الكالسيوم فى السيرم ثابتة فى حين أن مقادير كبيرة من الكالسيوم تخرج بالبول والبراز باستمرار فإذا استمر الجسم فى مثل هذا الميزان الكالسيومى السالب أصبحت العظام هشة (ostoeporo sis) . وتستعيض العظام كمية الكالسيوم بها مما يمتص من الأمعاء الدقيقة حينما يوجد الكالسيوم فى الطعام.

وفضلا عن ذلك فتترسب بالعظام من الدورة الدموية بعض العناصر السامة مثل الرصاص والزرنيخ والفلورين وبذا يمتنع ضررها.

٢ — لأيونات الكالسيوم تأثير هام على فزازة الجهاز العصبي العضلى بالجسم — أى قابليته للتهيج — فتزداد الفزازة إذا قلت أيونات الكالسيوم؛ والعكس بالعكس. وقد وجد وست (West) أن الانقباضات التيتنوسية المستمرة التى تصحب نقص أيونات كالسيوم السيرم تحدث فى الحيوان بعد قطع نخاعه الشوكى فى أعلى الجزء الصدرى، مما يثبت أنها لا تعتمد فى حدوثها على المراكز العصبية العليا بالمخ ووجد أيضاً أنها تختفى بعد قطع الجذور الخلفية الشوكية (darsal roots) . وقد وجد أحدنا أنه إذا قلت أيونات الكالسيوم فى نهايات الأعصاب الحساسة (sensory nerve endings) زادت فزازتها إلى حد كبير وأرسلت اشارات عصبية كثيرة جداً فى الأعصاب الحساسة لأقل تنبيه خارجي. وإذا رسبت أيونات الكالسيوم بوساطة أوكسالات الصوديوم استمرت نهايات الأعصاب الحساسة تعمل بلا انقطاع لعدة ساعات مرسلة إشارات عديدة إلى النخاع الشوكى. وتثبت هذه التجارب أن هذه الانقباضات التيتنوسية المستمرة تنشأ معظمها، ان لم يكن كلها، من فعل منعكس نتيجة تأثير نقص أيونات الكالسيوم على نهايات الأعصاب الحساسة. وفضلا عن ذلك فلنقص أيونات الكالسيوم تأثير على فزازة باقى الجهاز

العصبي وعلى العضلات نفسها ويستدل على ذلك بحدوث انقباضات خيطية بالعضلات (fibrillary) حتى بعد قطع الجذور الخلفية الشوكية وكذلك بأن قوة التيار الكهربائى الذى يلزم لتنبيه العضلة أوالعصب تقل مع قلة أيونات الكالسيوم وتزداد مع زيادتها . نستنتج مما تقدم أن وجود نسبة مخصوصة من أيونات الكالسيوم أساسية جداً لتنظيم فزازة الجهاز العصبي العضلي .

٣ — تقوم أيونات الكالسيوم بدور هام فى تجلط الدم وفى تجبن اللبن فإذا رسبت أيونات الكالسيوم بوساطة أوكسالات الصوديوم لا يتجلط الدم ولا يتجبن اللبن .

٤ — لأيونات الكالسيوم أهمية عظيمة فى نظم القلب(cardiac rhythm) فقد وجدنا فى (ص٢٨٥) أن قلب الضفدعة يدق بانتظام لعدة ساعات بعد فصله من الجسم إذا مررنا به محـــلولا يحتوى على أيونات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم بنسبة وجودها فى سيرم الحيوان . وإذا أنقصت أيونات الكالسيوم من هذا المحلول وقفت ضرباته بعد برهة وجيزة وأصبحت عضلة القلب مرتخية . وكذلك إذا زيدت نسبة أيونات الكالسيوم وقفت الضربات ولكن تبقى عضلة القلب منقبضة . يستدل من ذلك على أن أيونات الكالسيوم أساسية لنظم القلب وتنبه حالة الانقباض . ولشدة حساسية عضلة القلب لدرجة تركيز أيونات الكالسيوم قد استعملت عضـلة القلب حديثا كطريقة حيوية (biological method) لتقدير كمية الكالسيوم المتأين فى السيرم أو فى المحاليل الحيوية الأخرى التى تحتوى على خليط من الكالسيوم المتأين والغير المتأين .

٥ — تنظم أيونات الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم قابلية النفاذ (permeability) للأغشية الحيوية . وتقلل أيونات الكالسيوم قابلية النفاذ فى حين تزيدها أيونات الصوديوم والبوتاسيوم . وتستعمل أملاح الكالسيوم الآن كثيراً فى علاج الأوذيما إذ تقلل من رشح السوائل من البلازما إلى الأنسجة .

اخراج الكالسيوم من الجسم: قد رأينا أن ٧٠ فى المائة تقريبا من كالسيوم الطعام يخرج فى البراز وبعض هذا الكالسيوم يمثل ما تبقى من الطعام بدون امتصاص وبعضه يخرج من الدم بوساطة الأمعاء الغليظة. ويخرج باقى الكالسيوم من الجسم فى البول. وإذا زاد تكون الأحماض فى الجسم زادت نسبة الكالسيوم التى تخرج بالبول وأما إذا زادت القواعد زادت نسبة الكالسيوم التى تخرج بالبراز. ولذلك فإن الحيوانات آكلة اللحوم[1] تخرج معظم الكالسيوم فى البول وأما الحيوانات آكلة الأعشاب فتخرج معظم الكالسيوم فى البراز.

(٣) الفوسفور

يوجد الفوسفور فى الغذاء فى اللبن وفى كل الخلايا الحيوانية والنباتية ؛ إما على شكل أملاح غير عضوية وإما على شكل مركبات عضوية، فيدخل فى تركيب البروتين النووى، والفسفوبروتين — مثل كازينوجين اللبن وزلال البيض (ovalbumin) — والفسفوليبيد مثل الليسيتين. ويوجد فى عدة مركبات عضوية وغير عضوية فى اللحم.

امتصاص الفوسفور: يمتص الفوسفور فى الأمعاء الدقيقة. وتساعد الامتصاص كل العوامل التى تزيد ذوبان الفوسفات فى الأمعاء، ومنها

١ — كمية الكالسيوم: إذا زادت كمية الكالسيوم قل امتصاص الفوسفات، وذلك لترسيب فوسفات ثلاثى الكالسيوم.

٢ — تفاعل محتويات الأمعاء: تزيد الحموضة امتصاص الفوسفات، كما فى حالة الكالسيوم ولنفس الأسباب. فى حين تقلل القاعدية الامتصاص.

---

(١) يتكون من التمثيل الغذائى للبروتينات كميات كبيرة من حامض الكبريتيك والفوسفوريك بالجسم. وتحتوى الأغذية النباتية على كميات كبيرة من القواعد (أنظر باب تفاعل الدم بالجزء الثانى).

٣ — كمية الدهن : يقول كثيرون أنه إذا زادت كميـة الدهن قل امتصاص الكالسيوم (ص٢٨٨) وزاد امتصاص الفوسفات . ولـكن وجد فى بعض التجارب أنه إذا احتوى الطعام على كمية كبيرة جداً من الدهن قل امتصاص كلا الكالسيوم والفوسفات .

٤ — ڤيتامين د . وجود الڤيتامين د يساعد امتصاص الفوسفات ، كما يساعد امتصاص الكالسيوم .

ومن البديهى أن العوامل التى تساعد امتصاص الفوسفات لها نفس أهمية العوامل التى تساعد امتصاص الكالسيوم فى منع مرض الـكساح . فقد أمكن تجريبيا أصابة الحيوانات بالـكساح باعطائها طعاما يحتوى على كميات عادية أو أكبر من العادية من الكالسيوم ولـكن كمية الفوسفات به قليلة . وقد أمكن أيضا منع الـكساح أو شفائه بإضافة فوسفات البوتاسيوم الحمضى إلى الطعام .

توزيع الفوسفور فى الجسم: يحتوى جسم الرجل البالغ على ٧٠٠ جرام من الفوسفور تقريبا ، ٦٠٠ منها توجد فى الهيكل العظمى ، و ٥٧ فى العضلات و ٥ فى المخ ، و ٢ فى الدم ، والباقى موزع على بقية أنسجة الجسم .

فوسفور الدم : يوجد فى كل ١٠٠سم^{٣} من البلازما من ٢ إلى ٥ ملليجراما من الفسفور على شكل فوسفات غير عضوية . وتزيد هذه النسبة فى الرضيعين إلى ٤ — ٧ ملليجراما . وتحتوى البلازما أيضا على ٦ إلى ١٣ ملليجراما من الفوسفور العضوى فى كل ١٠٠سم^{٣}. وفضلا عن ذلك فتوجد مقادير كبيرة من الفوسفور فى الـكرات (من ٤٧ إلى ١١٤ ملليجراما فى كل ١٠٠ سم^{٣}) . ومعظم فوسفور الـكرات ، إن لم يكن كله ، يدخل فى تركيب مركبات عضوية كالفسفوليپيد وإسترات الفوسفات .

مركبات الفوسفور الغير العضوية بالجسم ووظائفها :

١ — تـكوين العظام : سبق أن ذكرنا أن الجزء الأكبر من رماد العظام يتـكون من فوسفات ثلاثى الكالسيوم ولترسيب هذا الملح فى العظام يجب أن

تكون نسبتا أيونات الفوسفات والكالسيوم فى الدم طبيعيتين . وكيفية ترسيب هذا الملح فى العظام من الدم غير معروفة الآن تماماً . ومن ضمن العوامل المهمة هو وجود الخميرة فوسفاتيز فى العظام . وهذه الخميرة تحلل إسترات الفوسفات العضوية — مثل فوسفات الهكسوز وفوسفات الجليسيرول (glycerophosphate) — وينتج عن هذا التحليل فوسفات غير عضوى وبذا تزيد نسبة أيونات الفوسفات وأيونات الكالسيوم فوق درجة التشبع فيترسب فوسفات ثلاثى الكالسيوم فى العظام .

٢ — تنظيم كمية أيونات الكالسيوم بالدم : قد وجدنا فى الكلام عن الكالسيوم أن تغيير نسبة أيونات الكالسيوم فى الدم ، سواء بالزيادة أو بالنقصان يؤدى إلى أعراض شديدة مميتة وأن هناك عدة عوامل تؤثر على هذه النسبة منها كمية أيونات الفوسفات فى بالدم .

٣ — حفظ تفاعل الدم : توجد الفوسفات الغير العضوية بالدم على هيئتى ص يد$_{٢}$ فو ا$_{٤}$ و ص$_{٢}$ يد فو ا$_{٤}$. وإذا تكونت الأحماض فى كثرة فى الجسم اشتركت هذه الأملاح فى معادلتها وفى حفظ الأس الإيدروچينى للدم ، كما يتبين من المعادلة الآتية :

$$\text{يد}_{٢}\ \text{ك ا}_{٣} + \text{ص}_{٢}\ \text{يد فو ا}_{٤} = \text{ص يد ك ا}_{٣} + \text{ص يد}_{٢}\ \text{فو ا}_{٤}$$

ومع أن أملاح الفوسفات الغير العضوية من أحسن المواد الحافظة لتفاعل الدم (buffers) إلا أنها توجد بمقادير قليلة تجعلها أقل أهمية من هذه الوجهة من المواد الأخرى مثل بيكربونات الصوديوم والبروتين

ولكن أهمية الفوسفات الغير العضوية تتوقف على ناحية أخرى وهى ناحية اخراجها فى البول . فعند الأس الايدروچينى ٧٫٤ — وهو تفاعل الدم الطبيعى — يوجد ٢٠ ٪ من الفوسفات على شكل ص يد$_{٢}$ فو ا$_{٤}$. فى حين أنه عند الأس الايدروچينى ٦ — وهو تفاعل البول الطبيعى — يكوّن ص يد$_{٢}$ فو ا$_{٤}$ ٨٥ فى المائة من فوسفات البول الغير العضوية . وتزداد نسبة

ص يد$_{٢}$ فو ا$_{٤}$ فى البول عن ذلك كلما زاد تكون الأحماض بالجسم . وكل جزىء من ص يد$_{٢}$ فو ا$_{٤}$ يخرج فى البول بدلا من جزىء ص$_{٢}$ يد فو ا$_{٤}$ الذى يوجد بالدم يوفر للجسم جزيئا من ص يد ك ا$_{٣}$ ؛ ويزيد من احتياطى القواعد بالجسم . ويتكون بيكربونات الصوديوم من تفاعل يحدث فى الكلى بين حامض الكربونيك وفوسفات الصوديوم القاعدى على حسب المعادلة السابقة . وبيكربونات الصوديوم الذى يتكون يمتص ثانية إلى الدم بوساطة الأنابيب الكلوية فى حين يخرج فوسفات الصوديوم الحمضى فى البول .

وفضلا عن ذلك فإن كمية الفوسفات الغير العضوية تزداد بالبول فى حالات زيادة الحموضة الدموية مما يساعد على حفظ تفاعل الجسم . وهذه الزيادة لا تشتق فقط من الفوسفات الغير العضوية بالدم بل تشتق أيضا من مركبات الفوسفات العضوية بالدم والأنسجة وتحدث حتى فى حالة الصيام .

٤ — التمثيل الغذائى لمائيات الكربون : سبق أن رأينا (ص٢٣٠) أن استعمال الجليكوجين بالعضلات يحدث عن طريق خطوات متوسطة مكونة من اتحاد الهكسوز والتريوز مع الفوسفات الغير العضوية . وقد رأينا أيضا أن فوسفات الهكسوز يكوّن خطوة متوسطة فى امتصاص الهكسوز من الأمعاء الدقيقة . وفضلا عن ذلك فانه إذا أعطى الجلوكوز نقصت كمية الفوسفات الغير العضوية فى الدم والبول فى حين تزداد كميتها فى العضلات والكبد . وعندما ترجع كمية الجلوكوز فى الدم إلى حالتها الطبيعية ترتفع كمية الفوسفات فى الدم ثانية وتخرج بالبول الفوسفات التى حفظت بالجسم وقت استعمال الجلوكوز . ولا يؤثر اعطاء الجلوكوز على فوسفات الدم أو البول فى الحالات المتقدمة من مرض البول السكرى . ويتضح من ذلك أن الفوسفات الغير العضوية بالدم لها دخل فى عملية أخذ الجلوكوز من الدم بوساطة الأنسجة .

مركبات الفوسفور العضوية بالجسم ووظائفها :

١ — يدخل الفوسفور فى تركيب مركبات عضوية أساسية للبروتوبلازم منها البروتين النووى فى نوايا الخلايا (ص ٢١١) . والفسفوليپيد فى جميع الأنسجة وخصوصاً الجهاز العصبى وأغشية الخلايا . والفسفوليپيد خطوة متوسطة فى نقل واستعمال الأحماض الدهنية بالجسم (ص ٢٦٥) . والسفالين (cephalin) — أحد ألفسفوليپيد — أساسى لتجلط الدم على حسب نظرية هاول (Howell) .

٢ — يوجد بالعضلات عدة مركبات عضوية للفوسفور منها الفوسفاچين ويقوم بدور هام — إن لم يكن بالدور الأول — فى انقباض العضلات (ص٢٠٣) . وإسترات فوسفات الهكسوز والتريوز وهى خطوات متوسطة فى تحويل الجليكوجين إلى حامض اللبنيـــك . والأدينيل بيروفوسفات ، ويعمل فى العضل كمساعد للخميرة ميوزيميز . فضلا عن أنه ينقل الطاقة بين عملية تحليل الجليكوجين إلى حامض اللبنيك وعملية صناعة الفوسفاچين ثانية بعد تحليله وقت انقباض العضلات[١] .

٣ — تقوم إسترات الفوسفات العضوية كما رأينا بدور هام فى ترسيب فوسفات ثلاثى الكالسيوم فى العظام . وفى حفظ تفاعل الدم .

٤ — تعمل مركبات الفوسفور العضوية فى الخلايا كحوافظ (buffers) لتفاعلها . وذلك لأن بعض المجموعات الحامضية لحامض الفوسفوريك لا تكون متحدة مع مجموعات عضوية بل تكون متحدة مع قواعد قوية مثل البوتاسيوم وقد تستعمل هذه القواعد فى معادلة أحماض قوية تتكون بالأنسجة وقت عملها كحامض اللبنيك ومن ضمن المواد الفوسفورية التى قد يكون لها هذه الوظيفة الحامض النووى والنيوكليوتيدات والنيوكليوسيدات.

---

(١) أنظر باب التغييرات الكيميائية التى تحدث بالعضلات وقت انقباضها بالجزء الثانى .

صناعة مركبات الفوسفور العضوية بالجسم : يقدر الجسم أن يصنع كل مركبات الفوسفور العضوية التى سبق ذكرها من الفوسفات الغير العضوية . فقد أمكن تربية الفئران لعدة أجيال على طعام لا يحتوى إلا على الفوسفات الغير العضوية فقط . وقد عملت مثل هذه التجارب على البط ووجد أنه نما نمواً طبيعياً وباض من ٨٥ إلى١٩٥ بيضة فى أول صيف له . ومن البديهى أن المركبات العضوية الفوسفورية لأنسجة الجسم النامى وتلك التى توجد فى البيض وهى الليسيثين والفوسفوبروتين قد صنعت من الفوسفات الغير العضوية الموجودة بالطعام . وقد ذكرنا عدة أدلة فى صفحة (٢١٦) تثبت أن الحامض النووى يمكن أن يصنع فى الجسم .

اخراج الفوسفور من الجسم : تخرج الفوسفات من الجسم فى البول والبراز . وفى الرجل البالغ يخرج ثلثا الفوسفات فى البول والثلث الآخر فى البراز . ومعظم فوسفات البول والبراز مركبات غير عضوية . ويخرج ببول الرجل السليم البالغ من ٠٫٩ إلى ٦ جرامات من (فو $ا_٤$) فى اليوم . وتتوقف الكمية على كمية الفوسفات فى الطعام . ولكن حتى فى الصيام التام يستمر إفراز الفوسفات فى البول ويشتق فى هذه الحالة من مركبات الفوسفور الموجودة فى الأنسجة ومن العظام . وتزداد كمية الفوسفات فى البول فى حالات الحوضة الدموية (acidaemia) .

(٤) المغنسيوم

يوجد المغنسيوم بمقادير قليلة فى كل الخلايا النباتية والحيوانية . ويوجد فى العظام مرسباً على هيئة كربونات المغنسيوم وفوسفات ثلاثى المغنسيوم . وتكوّن أملاح المغنسيوم حوالى ٢ فى المائة من رماد العظام . أى أن كميته بالعظام أقل كثيراً جداً من الكالسيوم . ولكنه يوجد بالعضلات وبالجهاز

العصبي بمقادير تساوى تقريبا ضعف مقادير الكالسيوم بها (جدول ٩) وتحتوى البلازما فى الإنسان على ١ إلى ٣ ميلليجرام من المغنسيوم فى كل ١٠٠ سم٣. ويوجد المغنسيوم أيضا فى كرات الدم بمقادير أكثر من تلك التى توجد فى البلازما .

وتقوم أيونات المغنسيوم فى الجسم بدور هام كمساعدات للخمائر فى عمليات الأكسدة والاختزال وكذلك فى عمليات اتحاد الجزئيات مع الفوسفات (phosphorylation) .

وقد وجد أنه إذا كان طعام الفئران البيض فقيراً جداً فى المغنسوم تسبب عن ذلك أعراض شديدة منها انقباضات عضلية تيتنوسية تؤدى إلى الوفاة (magnesium tetany) . وينقص مغنسيوم الدم فى هذه الحالات جداً . وقد وصفت حالات مشابهة لهذه فى الماشية ولكن ليس هناك دليل على إمكان حدوث مثل هذه الأعراض فى الإنسان إذا نقص المغنسيوم فى غذائه . وربما كان ذلك لأن ما يحتاجه الجسم من هذا المعدن قليل جداً . فاللبن الآدمى مثلا يحتوى على مقادير قليلة جداً ومع ذلك لاتحدث أعراض نقص المغنسيوم فى الطفل الرضيع النامى .

وتمتص أملاح المغنسيوم من الأمعاء الدقيقة ويساعد امتصاصها العوامل التى تساعد على ذوبانها وهى مماثلة للعوامل التى ذكرت فى امتصاص الكاليسوم ويخرج ٥٠ إلى ٨٠ فى المائة من المغنسيوم فى البراز . ويخرج الباقى فى البول .

(٥) الحديد

الحديد أحد المعادن الأساسية إذ أنه يستعمل فى صناعة الهيموجلوبين . ويوجد الحديد فى الخضروات والبقول والفواكه وفى السمك والدجاج وصفار البيض . ويحتاج الشخص البالغ ١٥ ميللجراماً من الحديد يومياً . وتقدر كمية الحديد التى تلزم للأطفال بمقدار ٠٫٥ إلى ٠٫٦ من المللجرام فى اليوم لكل كيلوجرام من وزن الجسم .

امتصاص الحديد : يمتص الحديد من كل الأمعاء ولكن يحدث أكثر امتصاصه فى جزئها الأعلى . وقد كان هناك اعتقاد قديم بأن مركبات الحديد العضوية كالهيموجلوبين هى أحسن مركبات الحديد للامتصاص . ولكن قد ظهر خطأ هذا الرأى إذ أن الحديد الموجود فى الهيماتين لا يتكسر منه بوساطة الخمائر الهضمية ولا يمتص بتاتاً . وقد وجد أن أملاح الحديد الذائبة الغير العضوية هى أحسنها من وجهة الامتصاص . وتختزل أملاح الحديديك فى القناة الهضمية إلى أملاح الحديدوز . ويظن أنها تمتص على هذا الشكل . ويقوم حامض الكلوردريك المعدى بدور هام فى امتصاص الحديد إذ أنه يفصل الحـــديد من بعض مركباته فى الطعام ويساعد تحويله إلى أملاح الحديدوز . ففى حالات الأنيميا (فقر الدم) التى يصحبها عدم إفراز حامض الكلوردريك المعـــدى قد وجد أن لأملاح الحديدوز تأثيراً نوعياً (specific effect) فى العلاج والشفاء ، فى حين لا تظهر فائدة كبيرة لإعطاء أملاح الحديديك ، مع أن أملاح الحديديك الغير العضوية — مثل كلورور الحديديك — تمتص بسهولة فى الشخص العادى .

توزيع واستعمال الحديد بالجسم : يمتص الحديد إلى الدم مباشرة . ويختفى من الدم بسرعة بعد الامتصاص ، إذ أنه يخزن فى الكبد وبمقادير قليلة فى الطحال والكلى . ويمكن زيادة الحديد فى هذه المخازن إذا أعطى الحديد فى الطعام بكثرة أو إذا حقن فى الجسم .

وتحتوى البلازما على آثار من الحديد) من ٠٫١ إلى ٠٫٣ من المللیجرام فى كل ١٠٠ سم٣) ويوجد معظم حديد الجسم فى كرات الدم الحمراء فيحتوى الدم على ٤٥ إلى ٥٠ ميللجراماً فى كل ١٠٠ سم٣. و ٩٦ ٪ من حديد الدم يدخل فى تركيب الهيموجلوبين . والجزء الباقى يدخل فى تركيب مواد أخرى فى كرات الدم الحمراء والبلازما . وتوجد مقادير قليلة من الحديد فى العضلات داخلة فى تركيب الهيموجلوبين العضلى (mvohaemoglobin) .

وكذلك فى جميع الأنسجة الحيـــــة حيث يدخل فى تركيب السيتوكروم (cytochrome) .

وإذا نقص الحديد من الطعام قلت صناعة كرات الدم الحمراء بوساطة نخاع العظام وتسبب عن ذلك الأنيميا . فقد أمكن إصابة الحيوانات بالأنيميا بإعطائها طعاماً خالياً من الحديد أو يحتوى على مقادير قليلة منه كالخبز واللبن ثم أمكن شفاءها ثانية بإعطاء الحديد فى الطعام .

وتظهر الأنيميا عادة فى الأطفال الرضيعين بعـد الشهر الرابع من الولادة وذلك لأن اللبن لا يحتوى إلا على مقادير قليلة منه . ولا تحدث الأنيميا قبـل ذلك إذ أن الطفل يولد وفى جسمه مقادير كبيرة من الحديد . ولذلك يستحسن أن يعطى الأطفال الرضيعين بعد الشهر الثالث شوربة خفيفة مصنوعة من الخضروات أو من مواسير العظام . ويحافظ الجسم بقدر الإمكان على كميات الحديد التى به فلا يخرج منها إلا مقادير قليلة جداً — بضعة ملليجرامات فى اليوم — وذلك لأن الحديد الذى ينتج من تكسير كرات الدم الحمراء القديمة يخزن معظمه فى الجسم فى الكبد والطحال ليستعمل مرة أخرى فى بناء الهيموجلوبين . وقد سبق أن ذكرنا (ص ٩٥) أن الكرات الحمراء القديمة تتكسر فى كل خلايا الجهاز الشبكى الأندوثليومى .

وإذا أخذت مقادير كبيرة من الحديد فى الطعام فإنها لا تدعو إلى زيادة فى صناعة كرات الدم الحمراء ولكن تخزن بالجسم لتستعمل عندما ينقص الحديد من الطعام .

فوائد مركبات الحديد بالجسم : ليس هنا مجال الكلام عمـــا يقوم به الهيموجلوبين فى عملية التنفس إذ أن لذلك فصلاً آخر بالجزء الثانى ويكفى هنا أن نقول أن الهيموجلوبين هو أهم المركبات الكيميائية التى توجد بالجسم . وذلك لأنه يقوم بحمل الأوكسيچين من الرئتين إلى الأنسجة كما يقوم بالدور

الأول فى حمل ثانى أكسيد الكربون من الأنسجة إلى الرئتين. ولو أن طريقة عمله فى الحالتين مختلفة. ويقوم السيتوكروم بدور هام فى عمليات الأكسدة والاختزال فى الأنسجة وسنتكلم عنه أيضاً فيما بعد.

إخراج الحديد: يخرج كل الحديد تقريباً بوساطة الأمعاء الغليظة فى البراز وتوجد مقادير قليلة جداً منه فى البول وفى الصفراء.

(٦) النحاس

يوجد النحاس بمقادير قليلة جداً فى أنسجة الحيوانات والنباتات. ويحتاج الشخص البالغ حوالى ميلليجرامين من النحاس يومياً. وقد ظهر حديثاً أن وجود النحاس فى الغذاء ضرورى لصناعة الهيموجلوبين فى الجسم ولو أنه لا يدخل فى تركيبه. فقد أعطيت الفئران طعاماً ينقصه الحديد وتسبب عن ذلك أصابتها بالأنيميا كما ذكرنا سابقاً. ثم أضيف إلى الطعام أملاحاً نقية من الحديد فلم تدع إلى الشفاء. ولكن حينما كانت أملاح الحديد غير نقية أو حينما أضيفت إلى الأملاح النقية آثار قليلة من النحاس تم شفاء هذه الحيوانات. ويمكن استبدال النحاس بالمنجنيز ولو أن تأثيره أقل من تأثير النحاس. ويظن أن النحاس يؤدى وظيفته كعامل مساعد فى صناعة الهيموجلوبين فى نخاع العظام. ويوجد بدم الثدييات مقادير قليلة من النحاس (٠,٠٥ إلى ٠,٥ من الميلليجرام فى كل ١٠٠ سم٣) ويخزن النحاس فى الكبد حيث يوجد بها حوالى ميلليجرامان فى كل ١٠٠ جرام. ويقال إن جسم الرجل البالغ يحتوى على ١٠٠ إلى ١٥٠ ميلليجراماً من النحاس.

هذا ويدخل النحاس فى تركيب الهيموسيانين (haemocyanin) الموجود فى الحيوانات القشرية (Crustacia) ويقوم هذا المركب فى هذه الحيوانات بحمل الأوكسيجين. ويعادل الهيموجلوبين الموجود فى الحيوانات العالية. ولون الهيموسيانين المؤكسد أزرق ولكن المركب المختزل لا لون له.

(٧) المنجنيز

يوجد المنجنيز فى أنسجة الحيوان والنبات ويقوم بدور هام فى عمليات الأكسدة والاختزال بالجسم . ويقال أيضا أنه يساعد عمل الخميرة أرچينيز وقد سبق أن ذكرنا أن المنجنيز قد يساعد تكوين الهيموجلوبين فى نخاع العظام . وتحتوى كبد الانسان على ٠٫١٥ من المِيللجرام بكل ١٠٠ جرام تقريبا . وتحتوى بقية الأنسجة على مقادير أقل من ذلك .

وقد وجد أن نقص المنجنيز من طعام الفئران لمدد طويلة يسبب العقم سواء فى الذكور أو فى الاناث .

(٨) اليود

اليود أحد المعادن التى يلزم وجودها فى الطعام . ولو أن كل ما يحتاجه الشخص فى اليوم هو حوالى ٠٫٠٠٢ من الملليجرام لـكل كيلوجرام من وزن الجسم . ويمتص اليود بسهولة من الأمعاء . ويوجد فى انسجة الجسم بمقادير قليلة جداً فيما عدا الغدة الدرقية التى تستعمله لتكوين الهرمون ثيروكسين . وإذا نقص اليود من الطعام تضخمت الغدة الدرقية وقل افرازها ونشأت عن ذلك أعراض نقص هذه الغدة . وقد كان هذا المرض منتشراً فى بعض الجهات فى سويسرا وغيرها من البلاد التى تكون كمية اليود فى الغذاء والماء بها قليلة ولـكن قد منع حدوث هذا المرض باضافة قليل من اليود إلى ماء الشرب أو ملح الطعام .

(٩) الزنك

الزنك أحد المعادن الأساسية للنبات والحيوان ويوجد معظم الزنك فى الحيوان فى الـكبدوالبنكرياس ويخرج الانسان حوالى عشرة ملليجرامات

يومياً فى البراز ويحتوى البول على ميللجرام واحد تقريبا . وقد وجد أن نقص الزنك من طعام الفئران يسبب نقصاً فى سرعة نموها ويقلل من متوسط عمرها .

ووجد أن الهرمون إنسولين النقى على شكل بلورات يحتوى على ٥ر٠٪ من الزنك وقد يكون لوجود الزنك علاقة بعمل هذا الهرمون وربما أيضا بعمل هرمونات الفص الأمامى للغدة النخامية .

(١٠) الفلور

كثيراً مايعتبر الفلور من العناصر الأساسية ولو أن مايحتاجه الجسم منه قليل جدا . ويدخل الفلور فى تركيب رماد العظام والأسنان . هذا وقد وجد حديثاً أن الفيران قد تنمو نمواً طبيعياً ولا يتأثر تكوين عظامها وأسنانها إذا كان الطعام خاليا من الفلور وعلى ذلك فليس من المؤكد إن كان الفلور عنصراً أساسيا أم لا .

الباب الثالث والعشرون

البـــول

(Urine)

ينتج عن التمثيل الغذائى عدة فضلات قد مر ذكرها فى الأبواب السابقة . وهذه الفضلات لا تتراكم بالجسم ؛ إذ أن كثيراً منها سام . ويتخلص الجسم من هذه الفضلات بوساطة الرئتين والكلى والأمعاء الغليظة والجلد .

ويتخلص الجسم عن طريق الرئتين من الفضلات الطيارة (volatile) مثل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء . وكذلك يخرج فى هواء الزفير بعض المواد الطيارة الأخرى التى قد تؤخذ فى الطعام مثل الكحول أو قد تتكون بالجسم مثل الأسيتون . ويخرج فى البراز بعض الماء والمعادن وأصباغ الصفراء ومواد أخرى قد سبق ذكرها (ص ١٠٩) . وأهم المواد التى تخرج فى العرق هو الماء ووظيفة العرق الحقيقية هى فى حفظ درجة حرارة الجسم . والعرق عبارة عن محلول ضعيف من كلورور الصوديوم فى الماء . وبه كميات قليلة من أملاح أخرى ومن البولينا . وكثافته النوعية من ١٠٠٢ إلى ١٠٠٣ . واسه الايدروچينى من ٥,٢ إلى ٧,٣ وتتراوح نسبة كلورور الصوديوم به بين ٠,٢و٠,٥ فى المائة . ويزيد المجهود الرياضى تركيز العرق . والعرق الذى تفرزه أجزاء الجلد المغطاة بالملابس يكون أكثر تركيزاً من ذلك الذى يخرج من الأجزاء العارية . وكمية الأزوت التى تخرج بالعرق قليلة ويمكن إهمالها ولكن إذا كان العرق غزيراً فقد تصل إلى ٠,٢٢ من الجرام فى الساعة . وفى حالات العرق الشديد — كما يحدث عند القيام بمجهود رياضى شديد وخصوصاً فى الجو الحار — يفقد الجسم عن طريق العرق كميات كبيرة من كلورور الصوديوم . ويؤثر ذلك على نسبة كلورور

الصوديوم فى الدم والأنسجة . مما يسبب انقباضات مستمرة مؤلمة فى العضلات. ويحدث ذلك فى عمال المناجم (miners cramps) ولمنع حدوث هذه التقلصات العضلية يطفأ الظمأ فى مثل هذه الحالات بتعاطى محلولا مخففاً من كلورور الصوديوم بدلا من الماء .

وكل ما تبقى من الفضلات يخرج فى البول . وأهم فضلات البول تنتج من التمثيل الغذائى للبروتين والتمثيل الغذائى الغير العضوى ؛ ولذلك يتوقف تركيب البول كثيراً على كمية البروتين والأملاح الغير العضوية بالطعام .

خواص البول الطبيعى

١ — **خواص طبيعية :**

(١) اللون والمظهر : بول الانسان الطبيعى سائل ، أصفر اللون ، رائق ويكون اللون أصفر فاتحا إذا كان حجم البول كبيرا ، وأصفر قاتماً إن كان البول مركزا . ويوجد بالبول الطبيعى إن كان تفاعله قاعدياً رواسب من الفوسفات الترابية (earthy phoshpates) مثل فوسفات الكالسيوم والمغنسيوم وما إليها . وقد تنفصل من البول الرائق عند حفظه بعد إخراجه من الجسم سحابة مخاطية من الخلايا الطلائية للمثانة والمجارى البولى . ويترسب من البول عند تبريده أملاح الحامض البولى وهذه تذوب ثانية إذا سخن البول بعكس رواسب الفوسفات الترابية التى لا تذوب عند التسخين .

(٢) الرائحة : للبول الطبيعى رائحة مميزة عطرية . تختلف كثيرا باختلاف نوع الطعام . وإذا تعفن البول بعد إخراجه كان به رائحة الأمونيا (النشادر)

(٣) الحجم: يتراوح حجم البول فى الشخص البالغ فى الأحوال العادية بين ١٢٠٠ و ١٨٠٠ سم٣ فى اليوم . وتستطيع الكلى السليمة أن تفرز فى الساعة ٢٥سم٣ من البول فقط أو ١٢٠٠سم٣ بحسب الظروف الموجودة . وكمية البول

التى تخرجها الكلى فى ساعات النهار تكون عادة من ضعف إلى أربعة أمثال الكمية التى تخرج ليلا (من٨مساء إلى٨صباحا). ويحصل العكس فى الأشخاص الذين يعملون ليلا وينامون نهاراً . ويزيد حجم البول الليلى عن حجم البول النهارى فيمن يعمل نهارا وينام ليلا فى كثير من أمراض الكلى .

وهناك عدة عوامل تؤثر على حجم البول ومنها ما يأتى :—

(ا) كمية ما يتعاطاه الشخص من السوائل . إذا كان من عادة الشخص أن يتعاطى كميات كبيرة من السوائل زاد حجم البول ؛ إذ أن كمية الماء بالجسم يجب أن تبقى ثابته .

(ب) كمية مايخرج من الماء عن طريق أعضاء الإخراج الأخرى : إذا زاد افراز العرق أو إذا زاد خروج الماء عن طريق الأمعاء — كما يحدث فى حالات الاسهال — قل حجم البول . وعلى ذلك فيتوقف حجم البول كثيراً على درجة حرارة الجو وتشبعه ببخار الماء ويكون حجم البول صيفاً أقل منه شتاء .

(ح) المجهود الرياضى الشديد . يقل حجم البول فى المجهود الرياضى الشديد نظرا لإفراز كثيرا من العرق ، ونظرا لأن معظم الدم يمر بالعضلات . ولا يمر بالأعضاء الداخلية ومنها الكلى إلا مقادير قليلة من الدم .

(ى) كمية الطعام ونوعه. كلما زادت فضلات الطعام التى يجب أن تخرجها الكلى زاد حجم البول ؛ فهذه الفضلات مدرة للبول (diuretic) إذ أنها يجب أن تخرج ذائبة فى الماء . ولما كانت معظم الفضلات التى تخرج فى البول ناشئة من التمثيل الغذائى للبروتين فإن حجم البول يزداد مع زيادة بروتين الطعام .

(ه) عوامل مرضية . يقل حجم البول فى حالات هبوط القلب والحمى والتهاب الكلى الحاد (acute nephritis) وفى المراحل الأخيرة من التهاب الكلى المزمن (chronic nephritis) . ويزداد حجم البول كثيراً فى مرض البول السكرى وفى مرض الديابيتس أللاذوقى (diabetis insipidus) .

(٤) الكثافة النوعية : تتراوح الكثافة النوعية للبول الطبيعى بين ١٠١٥ و١٠٢٥ (الكثافة النوعية للماء = ١٠٠٠) . وإذا زاد حجم البول قلت الكثافة النوعية فقد يتبع تعاطى مقادير كبيرة جدا من السوائل اخراج بول كثافته النوعية ١٠٠١ فقط . وأما إذا قل حجم البول فقد تصل كثافته النوعية إلى ١٠٣٠ . ولكن فى الأحوال المرضية قد لا توجد هذه العلاقة العكسية بين حجم البول وكثافته النوعية . فمثلا فى مرض البول السكرى يكون حجم البول كبيرا جدا وكثافته النوعية عالية أيضا (١٠٤٠) وكذلك فى مرض التهاب الكلى المزمن يكون حجم البول قليلا وكثافته النوعية ١٠١٠ فقط . وفضلا عن ذلك فلا يمكن للكلى المريضة أن تخرج بولا ذا كثافة نوعية منخفضة جداً عند تعاطى مقادير كبيرة من السوائل ؛ أى أنها لا يمكنها كالكلى السليمة أن تزيد حجم البول على حسب مقتضيات الأحوال فى الجسم .

(٥) التفاعل : يكون بول الانسان الطبيعى عادة حامضى التفاعل وأسه الايدروچينى على المتوسط ٦ . ولكن قد تزداد حموضة البول كثيراً عن ذلك فينخفض الأس الايدروچينى فى الشخص العادى إلى ٤,٨ . وقد تزداد القاعدية فيرتفع الأس الأيدروچينى إلى ٧,٤ . ويتغير تفاعل البول بحسب كمية الأحماض أو القواعد التى تتكون بالجسم ؛ وبهذا التغيير تشترك الكلى اشتراكا فى غاية الأهمية فى حفظ تفاعل الدم والأنسجة ثابتا .

وتزداد حموضة البول فى كل الأحوال التى تدعو إلى زيادة تكون الأحماض بالجسم مثل الغذاء البروتينى والصيام ومرض البول السكرى وتعاطى الأملاح التى تولد الأحماض بالجسم مثل كلورور الأمونيا وكبريتات الأمونيا وكلورور الكالسيوم .

وتقل حموضة البول فى كل الأحوال التى تدعو إلى زيادة القواعد بالجسم

مثل الغذاء النباتى وتعاطى بيكربونات الصوديوم للعلاج ووقت إفراز العصير المعدى .

ب — خواص كيميائية :

يبين جدول (١٠) متوسط التركيب الكيميائى للبول الذى يخرجه يومياً الشخص البالغ السليم الذى يتعاطى طعاماً كاملا يحتوى على مواد الغذاء الثلاثة .

جـــــدول ١٠

الحجم	١٥٠٠ سم^{٣}
مواد غير عضوية	٢٥ جم
مواد عضوية	٣٥ جم

(١) المود الغير العضوية

كلورور الصوديوم	١٥ جم
كلورور البوتاسيوم	٣,٣ »
مجموع الكبريت الكلى (كبريتات) . .	٢,٥ »
حامض الفسفوريك (فوسفات) . .	٢,٥ »
الأمونيا	٠,٧ »
المغنسيوم	٠,٥ »
الكالسيوم	٠,٣ »
مواد أخرى	٠,٢ »

بيكربونات الصوديوم وحامض الكربونيك (وتزداد هذه كثيرا إن كان تفاعل البول قاعديا) .

(٢) المواد العضوية

البولينا	٣٠ جم
الكرياتينين	١,٥ جم
الحامض البولى	٠,٩ جم
مواد أزوتية غير مقدرة[1] (Undetermined)	٠,٩ جم
إنديكان	٠,٠١ جم

هذا وتوجد بالبول آثار من مواد عضوية أخرى وهى :

أصباغ البول مثل يوروكروم ويوروبيلين

سكر (٢ — ٣ حجم فى كل ١٠٠ سم٣)

مخاطين

الخميرة دياستيز (diastase)

حامض أوكساليك وحامض اللبنيك وآثار من الأجسام الخلونية .

المواد الغير العضوية فى البول

١ — **الأسس الحامضية** (١) الكلورورات : تتوقف كمية الكلورورات التى تخرج يومياً فى البول على الكمية التى تؤخذ فى الطعام ؛ وذلك لأن كل كلورورات البول تشتق من كلورورات الطعام. فإذا اختفت الكلورورات من الطعام اختفت أيضاً من البول ، مع أن نسبة الكلورورات بالدم لاتتغير ، مما يدل على أن الجسم يحافظ على الكلورورات بقدر الإمكان نظراً لأهميتها فى حفظ الضغط الأوزموزى للدم والأنسجة وسوائلها . ولذلك تقل الكلورورات أو تختفى مؤقتاً من البول فى حالات مرضية كحالات الالتهاب الرئوى الحاد (acute pneumonia) عند تكوين الرشح فى الرئة .

(١) تتكون هذه المواد من الأحماض الأمينية وحامض هيبيوريك وقواعد بيورينية وما إليها

(٢) الكبريتات : تشتق كبريتات البول من أكسدة الكبريت الموجود فى جزىء البروتين وعلى ذلك فان كمية الكبريت فى البول تزداد مع زيادة الأزوت . وقد رأينا فى صفحة (٢٠٩) أن كبريت البول يمكن تقسيمه ثلاثة أقسام :

ا — كبريتات غير عضوية .
ب — كبرتيات إيثيرية .
حـ — كبريت متعادل .

وتتأثر كمية الكبريتات الغير العضوية والايثيرية بكمية البروتين فى الطعام ، فتزيد وتقل معها ؛ — فى حين تبقى كمية الكبريت المتعادل ثابتة . ويتبين ذلك جلياً من جدول (١١) المأخوذ من تجارب فولين . وتدل كمية الكبريتات الإيثيرية فى البول على درجة التعفن البكتيرى فى الأمعاء الغليظة

(٣) الفوسفات : يشتق جزء من فوسفات البول من الفوسفات التى تؤخذ بالطعام ويشتق الجزء الباقى من أكسدة المواد العضوية التى تحتوى على الفوسفور سواء كان مصدرها الطعام أو الجسم . وفى حالة الصيام تشتق فوسفات البول من أنسجة الجسم ومن العظام . وتتراوح كمية الفوسفات التى تخرج يومياً فى البول بين جرام واحد وستة جرامات ، ويتوقف ذلك على كمية الفوسفات التى تمتص من الأمعاء ، فكلما زاد امتصاص الفوسفات من الأمعاء زاد إخراجها فى البول .

وتوجد الفوسفات فى البول على شكل ص يد$_{٢}$ فو ا$_{٤}$ و ص$_{٢}$ يد فو ا$_{٤}$ ويتوقف تفاعل البول على نسبة فوسفات الصوديوم الحمضى إلى فوسفات الصوديوم القاعدى ؛ أى على نسبة $\frac{\text{ص يد}_{٢}\text{ فو ا}_{٤}}{\text{ص}_{٢}\text{ يد فو ا}_{٤}}$. وكلما زادت حموضة البول زادت هذه النسبة .

وإذا كان البول متعادلا أو قاعديا ترسبت به الفوسفات الترابية مثل الفوسفات ثلاثى الكالسيوم . وإذا ترك البول مدة بعد إخراجه من الجسم تعفن وتحولت البولينا به إلى أمونيا ، وصار البول قاعديا وترسب به فوسفات المغنسيوم الأمونيا (ز يد٤ ما فو ا٤) ويسمى هذا الراسب بالفوسفات الثلاثى (triple phosphates) .

ب — الأسس القاعدية :

(١) الصوديوم : يخرج فى البول يوميا حوالى خمسة جرامات من الصوديوم . ولكن الكمية تتوقف كثيراً على كمية الصوديوم فى الطعام . ويقل الصوديوم أو يختفى فى الصيام .

(٢) البوتاسيوم : يخرج فى البول يومياً من ١٫٩ إلى ٣٫٢ جراما من البوتاسيوم . ويتوقف ذلك على نوع الطعام ويحتوى اللحم وبقية الأنسجة الحيوانية والنباتية على كثير من البوتاسيوم . ويستمر إخراج البوتاسيوم فى الصيام ، إذ أنه يشتق فى هذه الحالة من أنسجة الجسم .

(٣) الكالسيوم والمغنسيوم : وتتغير كميتهما فى البول تبعاً للكمية التى تمتص منهما من الأمعاء ، وتبعا لكمية الأحماض والقواعد التى تتكون بالجسم . فإن زاد تكون الأحماض زاد مايخرج منهما فى البول . وأما إن زاد تكون القواعد زاد مايخرج منهما فى البراز وقل ما يخرج منهما فى البول .

(٤) الأمونيا : يخرج فى البول يوميا ما يعادل من ٣٠ إلى ٥٠ سم٣ من محلول الأمونيا الأساسى[1] (Normal Solution) ولكن فى حالات الحموضة الدموية الشديدة قد تزيد هذه الكمية إلى ٥٠٠ سم٣ . وتصنع معظم الأمونيا ، إن لم يكن كلها ، بوساطة الكلى . وصناعة الأمونيا بوساطة الكلى إحدى طرق الجسم المهمة لمحاربة الأحماض ولحفظ تفاعل الدم ثابتا . ومن

(١) المحلول الأساسى هو المحلول الذى يحتوى اللتر منه على الوزن المكافىء بالجرام للمادة .

البديهى أن كمية الأمونيا فى البول تصلح قياساً لدرجة تكون الأحماض فى الجسم .

(٥) الحديد : لا توجد إلا آثار قليلة من الحديد فى البول ؛ إذ أن معظم الحديد يخرج من الجسم عن طريق الأمعاء الغليظة . ويوجد الحديد فى البول فى مركبات عضوية فقط وتتراوح كميته بين ٠,٥ و ١٠ من المليجرام فى اليوم .

المواد العضوية فى البول

تأثير كمية البروتين فى الطعام على المواد العضوية فى البول : تحتوى أهم المواد العضوية التى فى البول على الأزوت . ولذلك فهى تمثل المرحلة الأخيرة من مراحل التمثيل الغذائى للبروتين . ويبين جدول (١١) تأثير كمية البروتين التى تؤخذ فى الطعام على كميات ونسب المواد الأزوتية والكبريتية فى البول .

جدول (١١) (عن فولين)

	طعام غنى بالبروتين	طعام فقير فى البروتين
حجم البول	١١٧٠ سم^3	٣٨٥ سم^3
مجموع الأزوت الكلى	١٦,٨ جم	٣,٦ جم
أزوت البولينا	١٤,٧ جم = ٨٧,٥ ٪	٢,٢ جم = ٦١,٧ ٪
أزوت الأمونيا	٠,٤٩ جم = ٣,٠ ٪	٠,٤٢ جم = ١١,٣ ٪
أزوت الحامض البولى	٠,١٨ جم = ١,١ ٪	٠,٠٩ جم = ٢,٥ ٪
أزوت الكرياتينين	٠,٥٨ جم = ٣,٦ ٪	٠,٦٠ جم = ١٧,٢ ٪
أزوت غير مقدر	٠,٨٥ جم = ٤,٩ ٪	٠,٢٧ جم = ٧,٣ ٪
مجموع الكبريت الكلى	٣,٦٤ جم	٠,٧٦ جم
كبريتات غير عضوية	٣,٢٧ جم = ٩٠ ٪	٠,٤٦ جم = ٦٠,٥ ٪
كبريتات إيثيرية	٠,١٩ جم = ٥,٢ ٪	٠,١٠ جم = ١٣,٢ ٪
كبريت متعادل	٠,١٨ جم = ٤,٨ ٪	٠,٢٠ جم = ٢٦,٣ ٪

يتبين من هذا الجدول ما يأتى : —

١ — أن كميتى البولينا والكبريتات الغير العضوية فى البول تتأثران كثيرا بكمية البروتين فى الطعام ولذلك فهما تؤخذان قياساً لكمية التمثيل الغذائى لبروتين الطعام (exogenous protein metabolism) ولو أن جزءا صغيرا منهما ينتج فى الواقع من التمثيل الغذائى لبروتين الجسم نفسه (endogenous) .

٢ — إن كميتى الكرياتينين والكبريت المتعادل فى البول لاتتأثران بكمية البروتين فى الطعام . ولذلك فهما يؤخذان قياساً للتمثيل الغذائى لبروتين الجسم نفسه (endogenous protein metabolism) .

٣ — ينتج بعض كمية الحامض البولى من الجسم وينتج البعض الآخر من الطعام . وتزداد كمية الحامض البولى مع زيادة البروتين فى الطعام حتى ولو كان بروتين الطعام لايحتوى على قواعد بيورينية بتاتا .

أهم الخواص الطبيعية والكيميائية للمواد العضوية فى البول :

(١) البولينا : يخرج بالبول يومياً حوالى ٣٠جم من البولينا ولكن تتوقف الكمية كما رأينا على كمية بروتين الطعام ؛ ويكوّن أزوت البولينا فى الأحوال الطبيعية من ٨٥ إلى ٩٠ فى المائة من مجموع الأزوت الكلى فى البول ولكن تقل هذه النسبة فى حالات الصيام أو عند نقص البروتين فى الطعام إلى ٦٠ فى المائة تقريبا . وكذلك تقل نسبة البولينا فى حالات الحموضة الدموية نظراً لخروج كثير من الأزوت على هيئة أمونيا . وتقل أيضاً فى حالات أمراض الكبد الشديدة مثل مرض الضمور الأصفر الحاد للكبد (acute yellow atrophy) ؛ إذ أن الكبد مكان صناعة البولينا بالجسم .

وتتبلور البولينا على شكل إبر طويلة ، عديمة اللون ، لامائية ، أو على شكل منشورات . وتنصهر بلورات البولينا عند درجة ١٣٠ مئوية . والبولينا

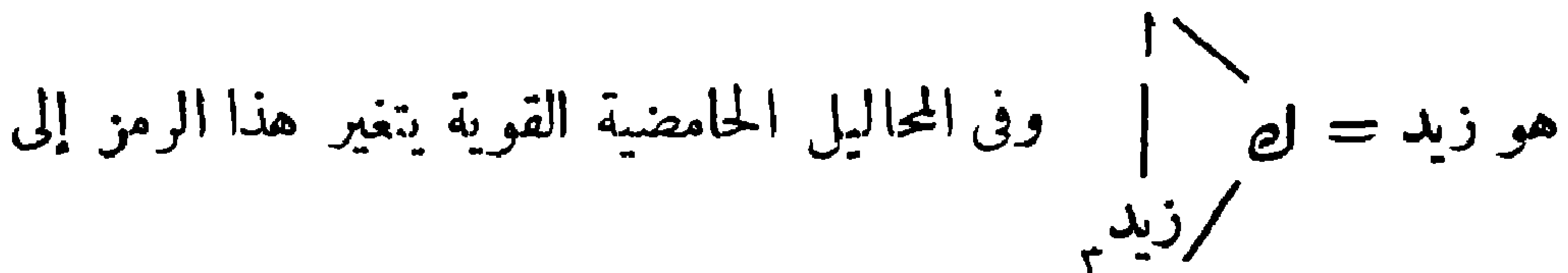
سهلة الذوبان فى الماء والكحول والأسيتون ، ولكنها لا تذوب فى الإيثير والكلوروفورم .

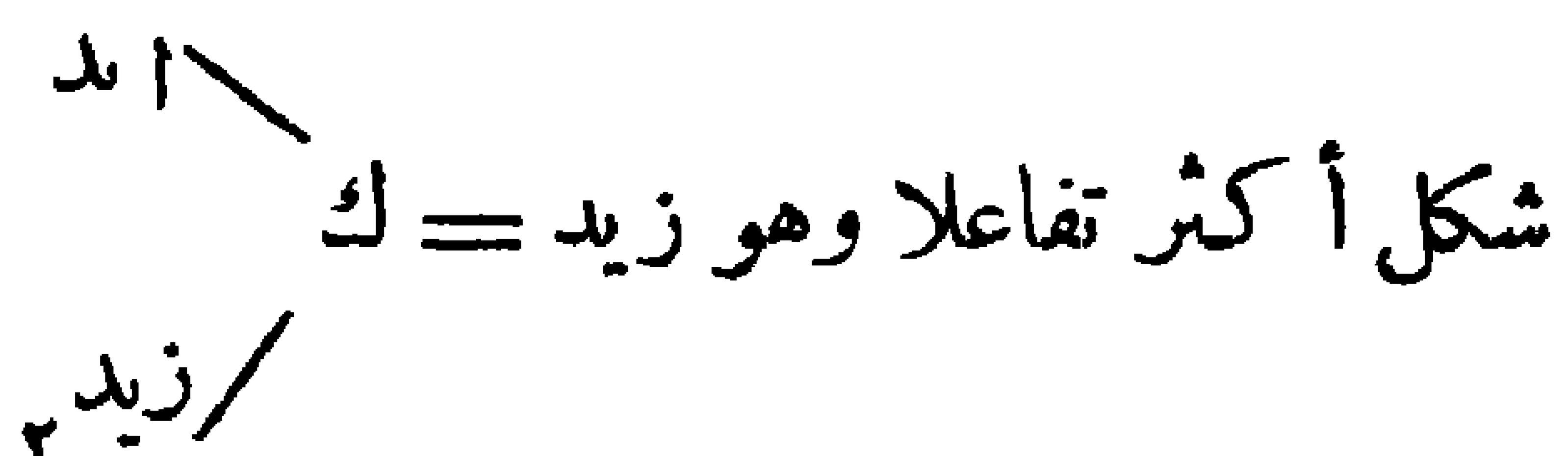
وتفاعل محلول البولينا متعادل ، ولكنها تتحد مع الأحماض مكونة مركبات بلورية وأهمها أزوتات البولينا وهى لا تذوب فى حامض الأزوتيك القوى وأوكسالات البولينا وهى لا تذوب فى حامض الأوكساليك .

وقد كان يظن مبدئياً أن البولينا عبارة عن ثانى أميد حامض الكربونيك (diamide of carbonic acid) ولها هذا الرمز الكيميائى .



ولكن قد أثبتت تجارب ڤرنر (Werner) أن الرمز الكيميائى للبولينا





وتتحلل البولينا بالتسخين فتتصاعد منهـا الأمونيا ويبقى بيوريت (biuret) وكذلك يتكون بالتسخين حامض السيانيك (cyanic acid) وحامض السيانيوريك (cyanuric acid) .

وإذا سخنت البولينا مع القواعد تحولت إلى ثانى أكسيد الكربون والأمونيا . وإذا أضيف محلول البولينا إلى تحت بروميت الصوديوم القاعدى (alkaline Sodium hypobromite) تحللت البولينا وكان من نتائج التحليل الغازان الأزوت وثانى أكسيد الكربون فيمتص ثانى أكسيد الكربون

بوساطة الصودا الكاوية ويتصاعد الأزوت . وبقياس حجمه يمكن تقدير كمية البولينا فى محاليلها . وهذه الطريقة تقريبية فقط إذ أن بعض الأزوت لا يتصاعد ويبقى على شكل سيانات . وكذلك إذا احتوى محلول البولينا — كما هى الحالة فى البول — على مواد أزوتية أخرى كالأمونيا والكرياتينين . تصاعد أيضاً بعض الأزوت من هذه المواد . وتبين المعادلة الآتية التفاعل الذى يحدث بين البولينا وتحت بروميت الصوديوم القاعدى .

ك ا ز$_{٢}$ يد$_{٤}$ + ٣ ص ا بر = ك ا$_{٢}$ + ز$_{٢}$ + ٢ يد$_{٢}$ ا + ٣ ص بر

وأحسن طريقة لتقدير البولينا فى محاليلها هى طريقة الخميرة يوريز (Urease) وتحلل هذه الخميرة البولينا إلى ثانى أكسيد كربون وأمونيا . وتمتص الأمونيا بوساطة كمية معينة من محلول من حامض الكبريتيك المعروف القوة . وتوجد الخميرة يوريز فى كثير من الأنسجة النباتية مثل فول صويا وفول چاك (Soya bean and jack bean) . وإذا ترك البول معرضاً للجو بعد إخراجه نمت عليه جرثومة تسمى ميكروكوكاس يوريا (micrococcus urea) وهذه تصنع الخميرة يوريز وهى السبب فى الرائحة النوشادرية التى تتكون فى البول إذا حفظ بعد إخراجه .

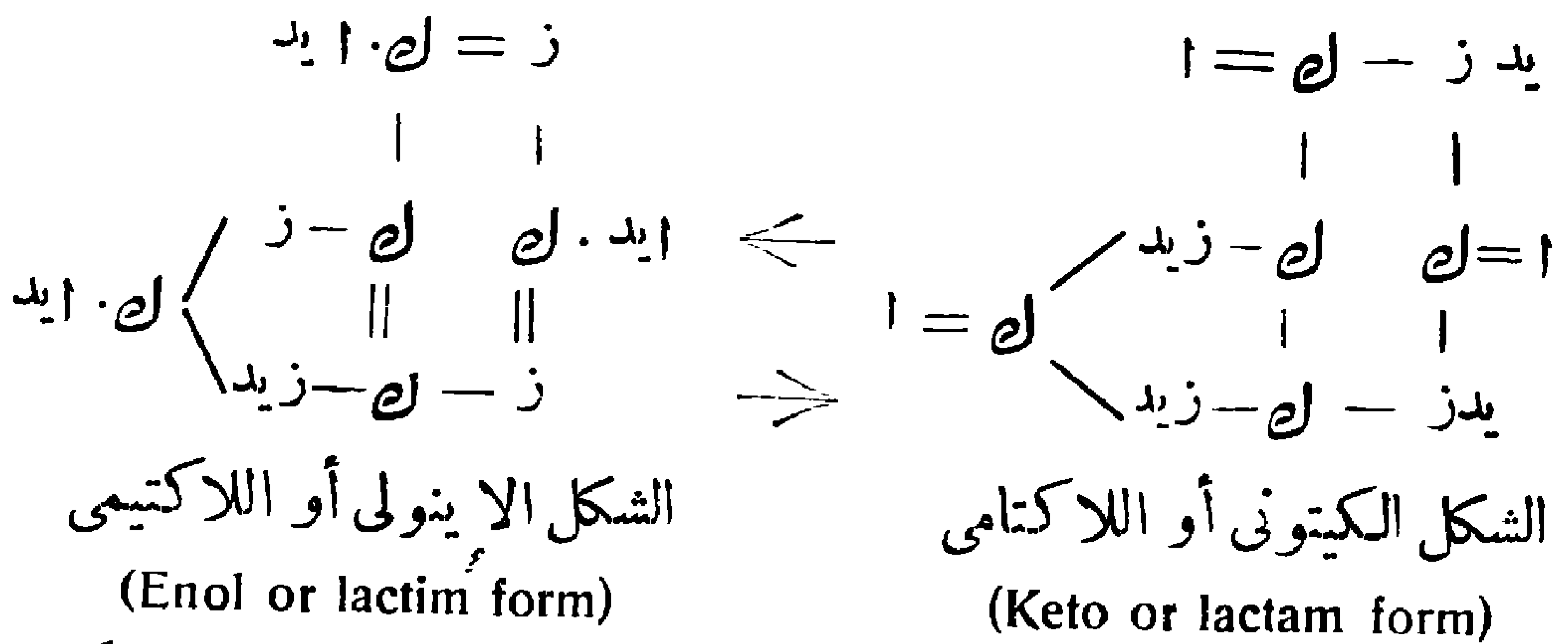
٢ — الكرياتينين . يخرج ببول الرجل يوميا من ١,٥ إلى ٢ جراما من الكرياتينين وببول المرأة من ٠,٨ إلى ١,٥ جراما وتتوقف كمية الكرياتينين فى البول على كمية النسيج العضلى ولا تتأثر كما ذكرنا بكمية بروتين الطعام . ويوجد فى بول النساء والأطفال عادة بعض الكرياتين ولا يوجد الكرياتين فى بول الرجل إلا فى الأحوال المرضية التى تسبب هزال العضلات كالحميات والصيام والبول السكرى وغيرها .

ويذوب الكرياتينين فى الماء وفى الكحول ولكنه لا يذوب فى الأثير ومحاليله متعادلة أو قاعدية قليلا جداً .

ويترسب الكرياتينين بوساطة حامض البكريك . ويتحد مع كلورور

الزنك مكوناً مركبا مميزا يستعمل فى تحضير محاليل أساسية من الكرياتينين وتحول القواعد الكرياتينين إلى كرياتين . ويتحول الكرياتين إلى كرياتينين إذا سخن مع الأحماض . ويختزل الكرياتينين محلول فهلنج ولكنه لا يختزل محلول بندكت .

(٣) الحامض البولى . يخرج فى بول الانسان من ٠٫٥ جرام إلى ٢ جراما فى البول يومياً وتتوقف الكمية على مايحتويه الطعام من قواعد البيورين . وتزداد كمية الحامض البولى أيضا مع زيادة القيمة الحرارية الكلية للطعام . والحامض البولى هو ٢—٦—٨— بيورين ثلاثى الأكسيد وترى علاقته بقواعد البيورين الأخرى فى (ص ٢١٢) . ويوجد الحامض البولى على شكلين ، وربما وجد الشكلان معاً فى حالة توازن وهذان الشكلان هما



الشكل الكيتونى أو اللاكتامى (Keto or lactam form)

الشكل الاينولى أو اللاكتيمى (Enol or lactim form)

ويوجد فى الشكل اللاكتيمى ثلاثة مجموعات من (— ا يد) وقد يكون لايدروجين هذه المجموعات خواص حامضية . ولكن واحدة منها أقوى حموضة من الآخرين كما هى الحالة فى حامض الفوسفوريك . ويتحد الحامض البولى مع القواعد ويكوّن نوعين من الأملاح . أملاح أحادية القواعد (monobasic) وأملاح ثنائية القواعد (dibasic) ودرجة ذوبان الأملاح ثنائية القواعد أكثر من درجة ذوبان الأملاح الأخرى ، وإذا ترسب الحامض البولى من بول حامضى التفاعل إدمأصت (adsorbed) على راسبه صبغة البول المسماة يورو إرثرين (uroerythrin) وظهر الراسب أحمر اللون .

٤ — حامض هيبيوريك (hippuric acid) . ويتكون فى الكلى باتحاد حامض بنزويك مع الحمض الأمينى جليسين ، وتتراوح كميته فى البول من آثار إلى جرامين يومياً ، وتزيد الكمية إذا كان الطعام غنياً بالفواكه والخضروات ولذلك يوجد بكثرة فى بول آكلات الأعشاب . ورمزه الكيميائى هو ك$_{٦}$ يد$_{٥}$ ك ا . ز يد . ك يد$_{٢}$ ك ا ا يد .

٥ — الأحماض الأمينية : توجد بعض الأحماض الأمينية دائماً فى البول وتتراوح كمية أزوت الأحماض الأمينية التى تخرج فى البول يومياً بين ٠٫٥ من الجرام وجرام واحد .

٦ — الإنديكان أو إندوكسيل كبريتات البوتاسيوم ، ويشتق من الإندول الذى يتكون فى الأمعاء الغليظة من الحمض الأمينى تربتوفان بوساطة التعفن البكتيرى . والرمز الكيمائى للإنديكان هو

يد
ك
يد ك   ك — ك ا كب ا$_{٢}$ ا بو
يد ك   ك   ك يد
ك   ز
يد   يد

٧ — أصباغ البول (urine pigments) وأهمها اليوروكروم واليوروبيلين واليورو إريثرين (urochrome, urobilin and uroerythrin) ويوجد اليوروكروم بمقادير أكثر من الصبغتين الأخريتين وهو الذى يسبب اللون الأصفر للبول أكثر من غيره . وهو أحد مشتقات اليوروبيلين ، وقد يكون اليوروكروم مماثلا للاكتوكروم وهو صبغة صفراء توجد فى اللبن ، ويحتوى

البول عند خروجه مباشرة من الجسم على يوربيلينوچين وهى مادة عديمة اللون تتحول إلى يوروبيلين بعد خروج البول من الجسم، ويوجد اليوروإريثرين بمقادير صغيره ولونه أحمر ولا يعرف كثير عن تركيبه الكيمائى .

وفضلا عن هذه الأصباغ الثلاثة توجد بالبول مقادير صغيرة جداً من الهياتوپورفرين (haematoporphyrin) وتزيد كميته كثيراً فى حالات التسمم بمادة الصلفونال (Sulphonal) . وعندئذ يكون لون البول بنفسجياً قاتما .

٨ — المواد العضوية الغير الأزوتية فى البول ، وأهمها حامض اللبنيك ويوجد منه فى اليوم من ٧٥ إلى ٢٠٠ ميلليجرام وتتوقف كميته على المجهود الرياضى الذى يقوم به الجسم ، ويوجد بالبول أيضاً حامض أوكساليك ويتراوح مقداره بين ١٥ و ٢٠ ميلليجراما فى اليوم ويزيد هذا المقدار عند تعاطى الأوكسالات فى الغذاء . ويوجد بالبول أيضاً آثار من الأجسام الخلونية .

المواد الغير الطبيعية فى البول

١ — الجلوكوز . ويوجد فى البول بمقادير تكفى لاختزال محلول فهلنج فى أنواع الجلوكوزوريا التى مر ذكرها (ص٢٣٤) . وأهم هذه الأنواع هو مرض البول السكرى . ويجب تمييز الجلوكوز من المواد المختزلة الأخرى التى قد توجد فى البول مثل سكر اللبن فى المراضع وحامض جلوكورونيك وحامض هوموچنتيزيك والكرياتينين .

٢ — بروتين قابل للتجمد (coagulable protein) . لا يوجد فى البول الطبيعى إلا آثار قليلة من مادة مخاطية تسبب سحابة فى البول عند حفظه ولكن فى أمراض القلب والكلى قد يخرج بروتين البلازما فى البول . ومعظم البروتين فى البول يتكون من ألبيومين البلازما وذلك لأن الوزن الجزيئى للألبيومين أقل من الوزن الجزيئى للجلوبيولين والفيبرينوچين ولذلك يمر ألبيومين البلازما من غشاء باومان بسهولة .

وتوجد عادة آثار من البروتين فى البول بعد المجهود الرياضى ولكن ليس لذلك أى أهمية مرضية .

٣ — الهيموجلوبين . يوجد الهيموجلوبين فى البول كما توجد مشتقاته عندما تتحلل كرات الدم الحمـــراء (haemolysis) فى الجسم بكثرة . وكذلك يوجد الهيموجلوبين فى البول كما توجد كرات الدم الحمراء فى حالات التهابات الكلى والمجارى البولية .

٤ — حامض جلوكورونيك . وتوجد آثار منه فى البول الطبيعى ولكن يزداد خروجه من الجسم عند إعطاء الكافور والكلورال ومواد أخرى . فيتحد حامض الجلوكورونيك مع هذه المواد وبذا يقلل ضررها فى الجسم . ويشتق حامض الجلوكورونيك من الجلوكوز بوساطة أكسدته وله المقدرة على اختزال محلول فهلنج .

٥ — الأجسام الخلونية . وتوجد آثار منها فى البول الطبيعى ولكن تزداد الكمية جدا فى الصيام وفى مرض البول السكرى وعند تعاطى طعاما غنياً بالدهون فقيراً بمائيات الكربون .

٦ — حامض هوموچنتيزيك . ويخرج فى البول فى حالات البول الألكبتونى وقد مر ذكرها .

٧ — سستين . يخرج السستين فى كثرة فى البول فى بعض الأشخاص وقد تصل كميته إلى نصف جرام يومياً . وهذا المرض وراثى ويستمر مدى حياة الشخص . وقد يترسب السستين فى المجارى البولية مكوناً حصوة من السستين .

٨ — أصباغ الصفراء تخرج أصباغ الصفراء فى البول فى مرض الصفراء وكذلك توجد أملاح الصفراء فى حالات مرض الصفراء الناشئة عن سد القناة الصفراوية (obstructive jaundice) .

٩ — الرواسب البولية تنقسم الرواسب البولية قسمين :

(ا) رواسب متعضونة (organised sediments) ومنهـــا الخلايا الطلائية للمجارى البولية والخلايا الصديدية وكرات الدم الحمراء والحيوانات المنوية وبيض الطفيليات كالبلهارسيا وقوالب الأنابيب الكلوية (Casts) .

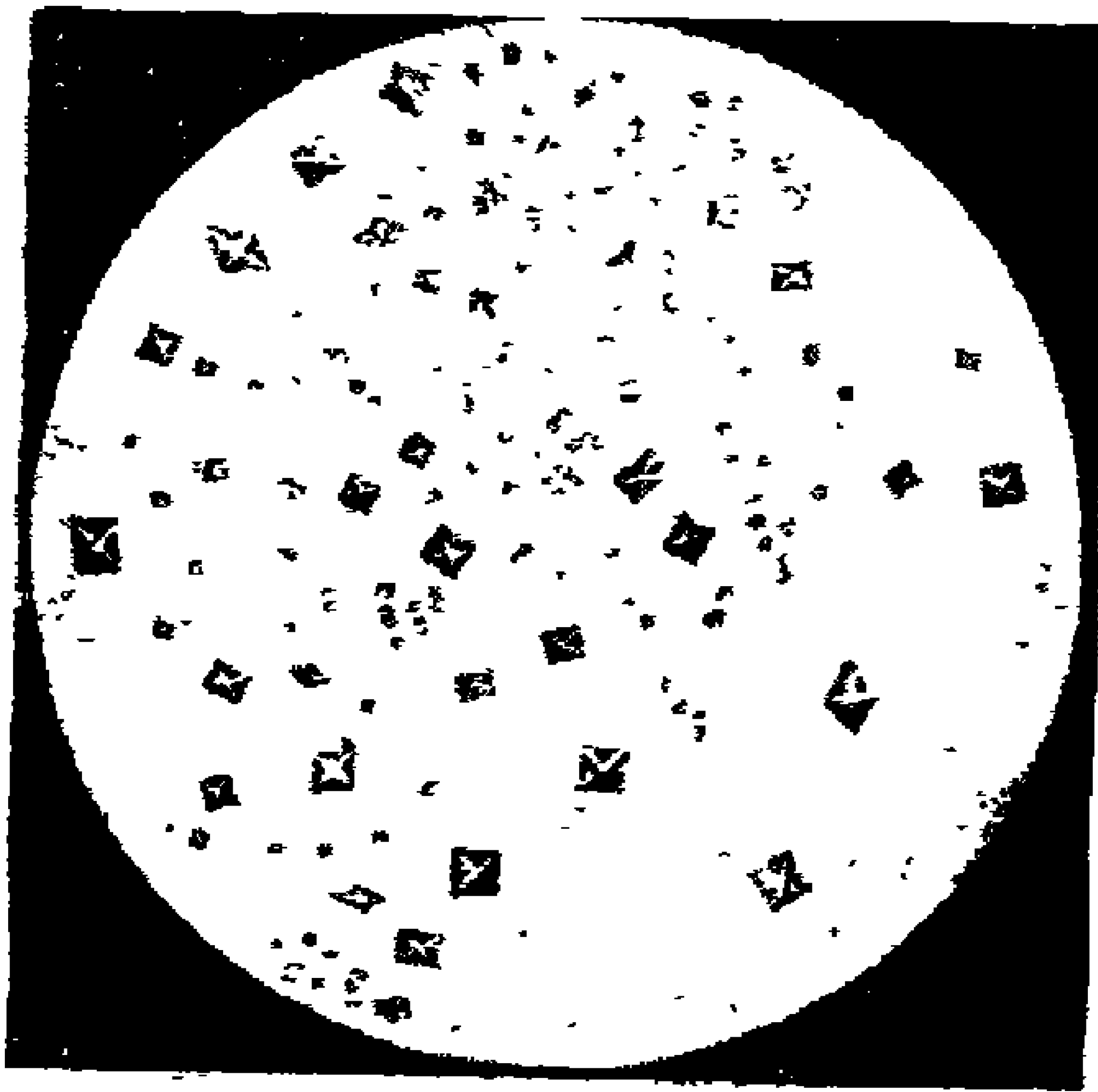
(ب) رواسب غير متعضونة (unorganised sediments) وهذه تختلف مع تفاعل البول . فيوجد بالبول الحامضى ما يأتى :

(١) الحامض البولى ولون الراسب أصفر أو محمر وتكون البلورات على أشكال

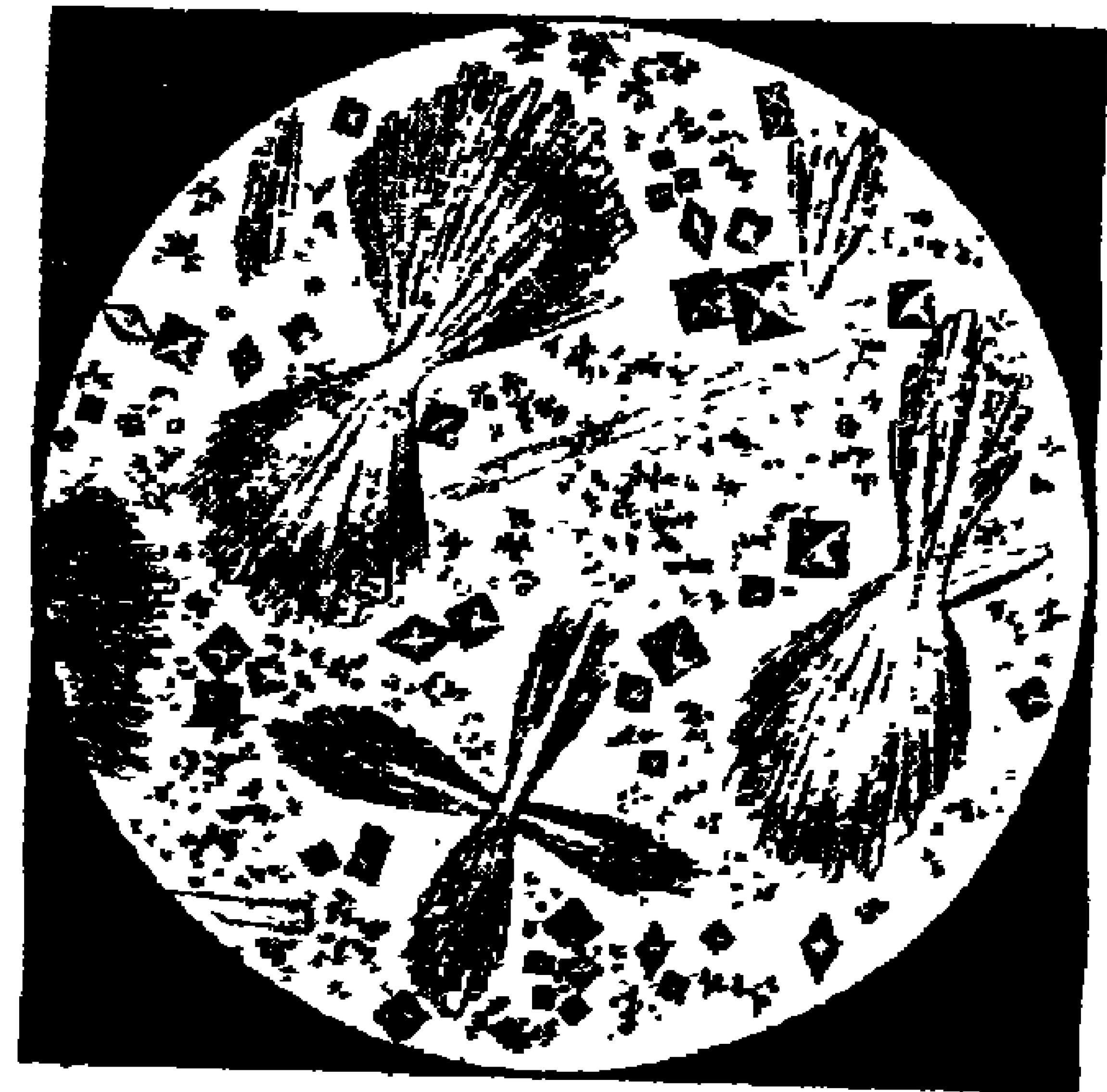




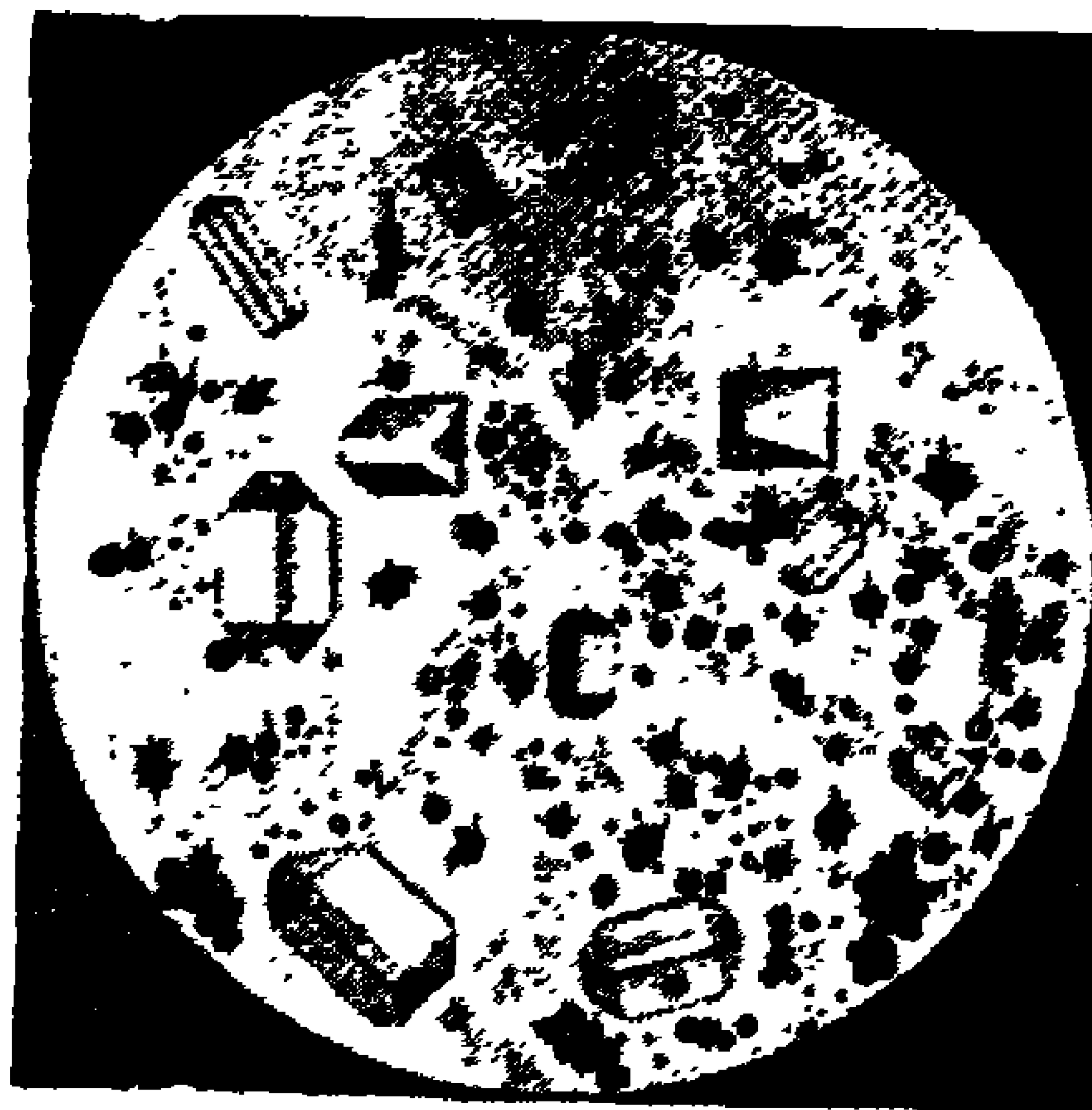
(شكل ٥٢) عدة أنواع من رواسب الحامض البولى



(شكل ٥٤)
راسب أوكسالات الكالسيوم



(شكل ٥٣) راسب من الحامض البولى
ويورات الصوديوم وأوكسالات الكالسيوم



(شكل ٥٥) راسب من الفوسفات الثلاثى (فوسفات المغنسيوم الأمونيا) ويورات الأمونيوم

٥٢ ا : عن ستارلنج — ٥٢ب، ٥٣، ٥٤، ٥٥ عن فنك

مختلفة . ومنها ما يكون على شكل منشورات معينة (rhombic prisms) . أو على شكل الوتد (wedge) أو على شكل مساكات الترويض الحديدية (dumb-bells) كما يتبين من (شكل ٥٢) . ورواسب الحامض البولى تذوب فى إيدروكسيد الصوديوم وتترسب ثانية بوساطة حامض الكلوردريك .

(٢) أملاح الحامض البولى ويكون لون رواسبها أحمر باهتاً (pinkish) وهى تذوب بالتسخين وقد تكون متبلورة . وتكون البلورات على شكل إبر منشورية الشكل تتجمع مع بعضها على شكل المروحة (شكل ٥٣) .

(٣) أوكسالات الكالسيوم وبلوراته غير ملونة وشفافة ولها شكل ظرف الخطاب (envelope-like) ومثمنة الأضلاع (octahedra) وهى تذوب بسهولة فى حامض الكلوردريك ولا تذوب فى حامض الخليك . وقد تكون أيضا على شكل مساكات الترويض الحديدية . (شكل ٥٣ و ٥٤) .

(٤) فوسفات الكالسيوم الحمضية (كا يد فو ا٤) . وهى نادرة وتكون بلورات منشورية وتذوب بسهولة فى حامض الخليك المخفف .

ويوجد بالبول القاعدى مايأتى :

(١) فوسفات المغنسيوم الأمونيا وتترسب إذا كان التفاعل حامضياً خفيفاً أو معادلا أوقاعديا وتشبه البلورات غطاء صندوق الموتى(coffin-lid) وهى تذوب بسهولة فى حامض الخليك . (شكل ٥٥) .

(٢) رواسب فوسفات الكالسيوم والمغنسيوم الترابية وهى غير متبلورة ولا تذوب بالتسخين أو فى القواعد ولكنها تذوب فى حامض الخليك .

(٣) كربونات الكالسيوم . وتكون الرواسب على شكل كرات تخرج منها زوائد .

(٤) يورات الأمونيوم . وتكون الرواسب على شكل كتل صفراء أو بنية غير متبلورة وقد تكون على شكل بلورات كروية لها زائدة أو أكثر (thon n-apple) كما يرى فى (شكل ٥٥) . وتذوب فى حامض الكلوردريك ثم يترسب منها الحامض البولى بعد ذلك .

الباب الرابع والعشرون

الڤيتامينات

(Vitamins)

الڤيتامينات مواد كيميائية عضوية ، ووجودها فى الطعـام بمقادير قليلة أساسى للصحة والنمو بل للحياة . بدأت معرفتنا بها عام ١٨٩٧ حيث اكتشف إيكمان (Eijkman) أن مرض البرى برى (Beri beri) يصيب أولئك الذين يتناولون الأرز بعد تبييضه كطعامهم الأساسى، وأنه يمكن شفاء هذا المرض إذا أضيفت ردة الأرز التى تفصل منه فى عملية التبييض إلى الطعام . وأثبتت تجارب أخرى بعد ذلك قام بها علماء كثيرون نخص منهم بالذكر لونين (Lunin) وستب (Stepp) وروهمان (Rôhman) وبيكلهارنج (Pekelharing) وهوبكنز (Hopkins) أنه إذا غذيت الحيوانات بكميات كافية من البروتين والزيت والنشاء والأملاح المعدنية — وكانت هذه المواد نقية — وقف نمو هذه الحيوانات ثم انتابتها أمراض مختلفة ثم ماتت . ويكفى أن يضاف إلى هذا الطعام النقى قليل من المواد الطبيعية — كاللبن الطازج الذى لم تمتد إليه يد الأنسان بالتحضير والتنقية — لتنمو هذه الحيوانات نموا طبيعيا وتعيش بصحة جيدة . ولا يتسبب هذا المفعول السحرى من بروتين أو دهن أو سكر اللبن أو مما به من الأملاح المعدنية ؛ إذ لو أعطيت هذه بمفردها بعد تنقيتها لما كان لها أى تأثير . وقد شبهت هذه المواد — للدلاله على قيمتها الحيوية فى بناء البروتوپلازم مع قلتها بالنسبة لمواد الطعام الأخرى — بالأسمنت والمسامير فى بناء المنـــازل ؛ إذ أنه مع وجود كميات كافية من الحجارة والأخشاب والحديد لا يمكن بناء منزل بدون الأسمنت والمسامير . وشبهت

أيضا بالشرارة الكهربائية اللازمة لاحتراق البنزين فى آلة السيارة ؛ فمهما كان مستودع السيارة ملآن بالوقود لا يمكن استعماله لتقديم الطاقة اللازمة لتسيير السيارة إلا إذا وجدت تلك الشرارة الكهربائية .

وفى عام ١٩١١ حضر فنك (Funk) مادة متبلورة مما يفصل من الأرز فى عملية التبييض (rice polishings) ؛ وهذه المادة فعالة جداً فى شفاء مرض البرى برى فى الطيور . وقد ظن أنها من فصيلة الأمين فأطلق عليها لفظ ڤيتامين — أى أمين الحياة — (vitamine) ثم سميت كل العوامل الاضافية الأخرى اللازم وجودها بالغذاء بالڤيتامينات مع أنها لا تمت لفصيلة الأمين كيميائيا بصلة .

ولما كان التركيب الكيميائى للڤيتامينات مجهولا فى ذلك الوقت فقد سميت بالحروف الهجائية هكذا : ڤيتامين ا وڤيتامين ب وڤيتامين ج (A.B.C) ، ثم ظهر بعد ذلك أن الڤيتامين الذى سمى مبدئيا ا مكون من ڤيتامينين ترك لأحدهما الأسم ا وأطلق على الآخر الأسم د D ؛ وظهر أيضا أن الفيتامين ب مكون من عدة من الڤيتامينات أطلق عليها ب١ ب٢ ب٣ وهكذا . ويجرى العمل بسرعة فى معظم أنحاء العالم للبحث عن هذه الڤيتامينات من حيث تركيبها الكيميائى ومصدرها فى أنواع الغذاء ، وما يسببه نقصها من الأمراض . وكلما مر عام قربت نبوءة هوبكنز من الحقيقة ، إذ قال ذلك العالم الانكليزى فى سنة ١٩٠٦ ما معناه « لا يمكن لأى حيوان أن يعيش على طعام مكون من البروتين والدهن ومائيات الكربون النقية حتى ولو أضيف إليه كل ما يلزم من الأملاح المعدنية . قد خلق الحيوان ليأكل الأنسجة النباتية أو أنسجة الحيوانات الأخرى . وهذه تحتوى على عدد كبير جدا من مواد خلاف البروتين والدهن ومائيات الكربون . فقد دلتنا التجارب الطويلة على أن مرضى الكساح والاسقربوط ينشآن من نقص بالطعام وهذان مرضان خطيران قد شعرنا بهما لخطورتهما ، ولكن لا بد وأن هناك أمراضا أخرى كثيرة لا نشعر بها الآن تتسبب من نقص فى الطعام » .

ويمكن تقسيم الفيتامينات المعروفة إلى قسمين : فيتامينات ذائبة فى الدهون (Fat-soluble) ، وفيتامينات ذائبة فى الماء (Water soluble) .

والفيتامينات الذائبة بالدهون هى ا . و د . و هـ . و ك (A. D. E. K) .

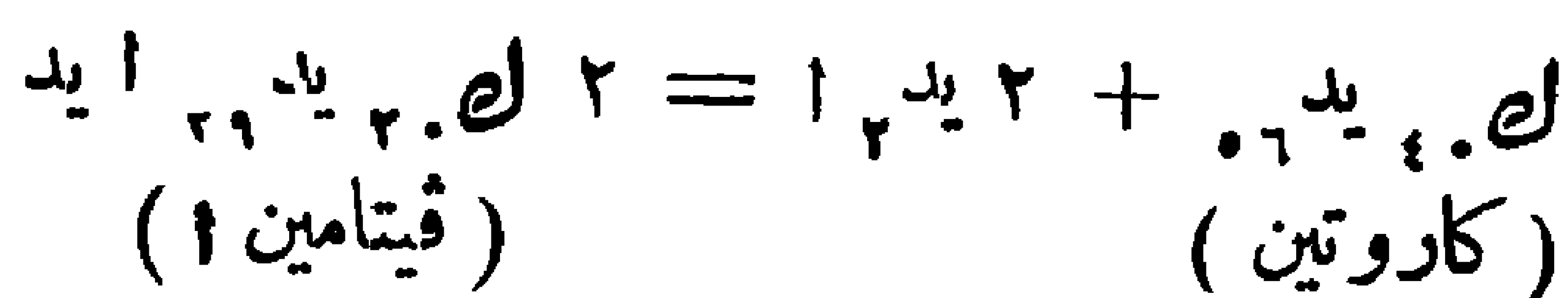
وأما الفيتامينات الذائبة بالماء فهى ب . و . ج . (B. C)

الفيتامينات الذائبة فى الدهون

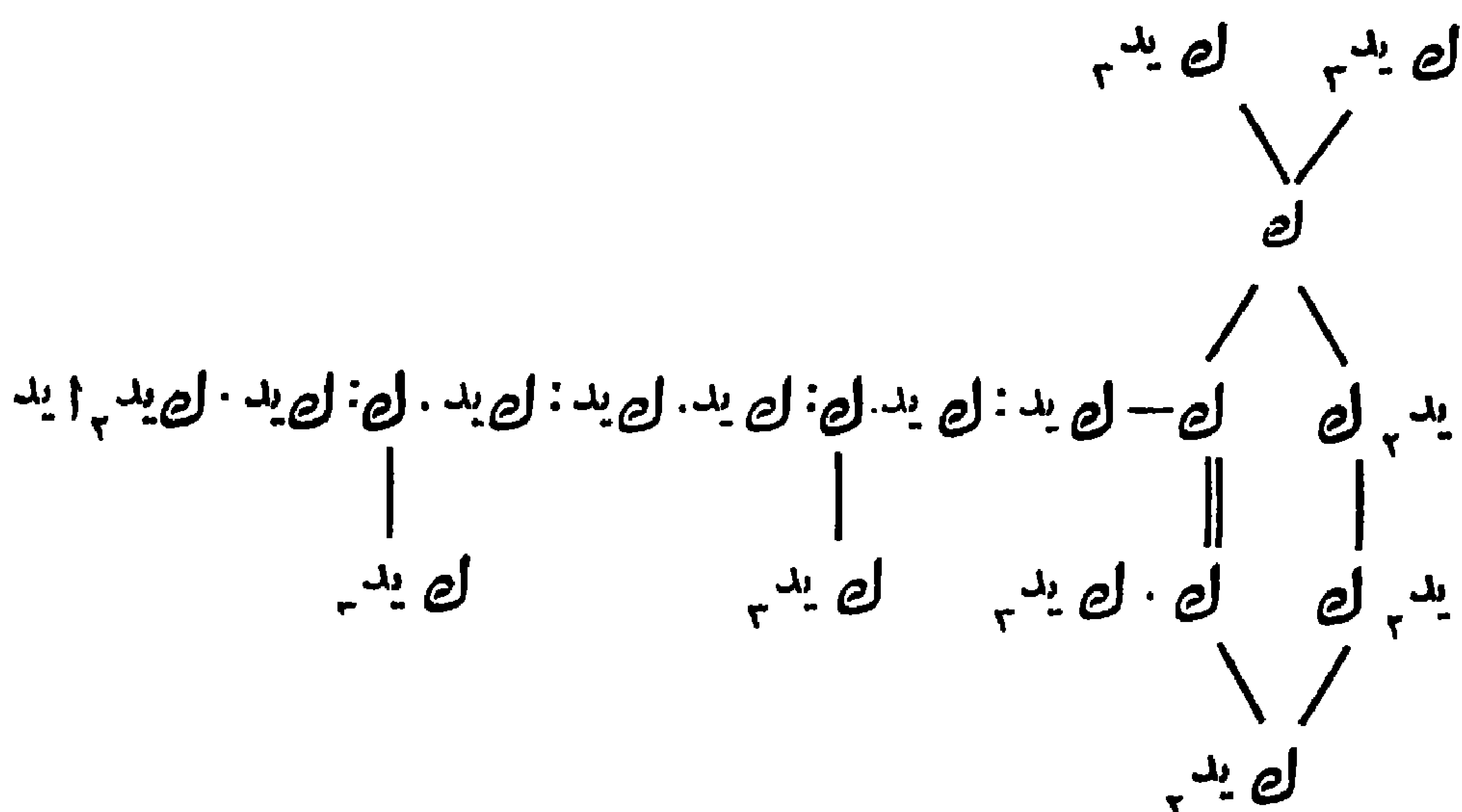
(١) الفيتامين ا (A) أو الفيتامين ضد العدوى

أمكن تحضير هذا الفيتامين نقياً وفى حالة بلورية من زيت كبد السمك . وهو كحول له الرمز الكيميائى ك٢٠ يد٢٩ ا يد . ويمكن لكبد الثدييات أن تصنعه من الكاروتين (carotene) ، وهو صبغة حمراء توجد فى الجزر ونباتات أخرى . ويحصل هذا التحويل بوساطة خميرة توجد فى الكبد وتسمى كاروتينيز (carotenase) . ولذلك يكفى وجود الكاروتين بالطعام لمنع حدوث أعراض نقص الفيتامين ا

وتبين المعادلة الآتية تحويل الكاروتين إلى فيتامين ا



والرمز الكيميائى لفتيامين ا . هو



ومن أحسن مصادر الڤيتامين ا فى الطعام الدهون التى من أصل حيوانى، كزيت كبد الحوت وأسماك أخرى والزبدة والقشدة والبيض ولبن البقر. ويوجد بمقادير جيدة فى اللبن الآدمى والجبن والكبد العجالى والمحار. ولا يوجد فى الزيوت النباتية.

ومن أحسن مصادر الكاروتين فى الطعام الجزر والسبانخ وكشك الماز والبقول والخضروات والخبز البلدى والكرنب والجزر والخس وعصير البرتقال والخوخ والطماطم.

ولا يتأثر ڤيتامين ا بطرق تحضير الطعام العادية — كالغلى والطبخ — بل يبقى له نفس المفعول. ولكن يتلف بالأكسدة.

أعراض نقص الڤيتامين ا من الطعام : إذا أعطى لإنسان أو حيوان طعام كامل من جميع الوجوه ولا ينقصه إلا الڤيتامين ا وقف نموه إن كان صغيراً، وربما عاش بضعة شهور إن كان كبيراً ولكنه يصاب بعدها بجملة التهابات قد تسبب الوفاة. ويحدث أكثر هذه الالتهابات بالعينين والأمعاء والقصبة الهوائية وفروعها والمهبل. وقد تحدث بأى جزء من أجزاء الجسم وخصوصاً الأغشية المخاطية، ولذلك أطلق على هذا الڤيتامين اسم الڤيتامين ضد العدوى. وربما كان السبب فى هذه الالتهابات هو تحويل بروتين البروتوپلازم الموجود فى خلايا الغدد فيصبح قرنيا (Keratinised) وغير ذائب كبروتين الخلايا السطحية للجلد والأظافر، وبذا يقل إفراز هذه الغدد فتجف الأغشية المخاطية وتصبح عرضة لتراكم الجراثيم ونموها عليها. ويحدث هذا التغيير خصوصاً فى غدد الدموع والغدد اللعابية وغدد الأغشية المخاطية. وهكذا نرى أن من أهم أعراض نقص الڤيتامين ا حدوث الرمد الجاف (Xerophthalmia). ويسبب الرمد الجاف العمى لكثير من الأطفال فى الهند والشرق؛ ففى هذا المرض تتقرن خلايا غدد الدموع ويقل إفرازها فتجف العينان وتنمو الجراثيم فى كيس الملتحمة (Conjunctive)

وتمتلىء الغرفة الأمامية للعين (anterior chamber) بالصديد ، ويحدث لين فى نسيج القرنية (Keratomalacia) يعقبه العمى (شكل ٥٦) . وأما إذا أعطى القيتامين فى الوقت المناسب فان ذلك يؤدى إلى شفاء سريع .

ومع أنه ليس هناك برهان على أن إعطاء هذا القيتامين بكثرة يؤدى إلى زيادة مناعة الجسم ضد الأمراض فإن العكس صحيح ؛ إذ أن نقص هذا القيتامين يؤدى إلى قلة المناعة . فقد حدثت إصابات كثيرة من التهاب العينين والالتهاب الرئوى فى الدينمارك وقت حرب ١٩١٤ — ١٩١٨ حين كانت تصدر كل الدهن الحيوانى واقتصر أهلها فى غذائهم على زيوت نباتية أو زبد صناعية (Margarine) . وكذلك وصف بعض الباحثين ١٥٠٠ حالة من التهاب العينين فى أطفال يابانيين يعيشون على طعام خالٍ من القيتامين ا ؛ وقد شفيت جميعها بمجرد إعطاء هذا القيتامين مع الطعام . وهناك دلائل قوية على ضرورة إعطاء الحامل أو المرضع مقادير من هـــذا القيتامين أكبر من المعتاد . ومن المعتقد فيه أن أهمية ذلك ليست فقط فى نمو الجنين أو الرضيع بل ربما كان له فائدة أخرى فى قلة احتمال الإصابة بحمى النفاس .



(شكل ٥٦)
العمى الناشىء من نقص الفيتامين ا
(عن هاريس)

وقد يؤدى نقص القيتامين ا إلى تغييرات فى الجلد حتى قبل إصابات العينين والأغشية المخاطية ، فيصير الجلد جافاً وبه طفح محبب . وربما كان كثير من إصابات الجلد الطفيفة فى الأطفال — كالطفح الذى يحدثه الحفاظ (اللفة) — نتيجة نقص هذا القيتامين .

هذا وتسبب قلة الڤيتامين ا العشى — أى العمى الليلى — إذ يؤدى نقص الڤيتامين ا إلى قلة الأرجوان البصرى (Visual purple) اللازم للرؤية بالليل ، إذ يدخل الڤيتامين ا أو الكاروتين فى تركيب الأرجوان البصرى .

هذا ويقول ماللني (Mallenby) إن نقص الڤيتامين ا فى الكلاب يسبب فساد العقد العصبية وأعصاب السمع والتوازن الموجودة فى عظمة الصدغ (Temporal bone) ، ويؤدى ذلك إلى الصمم . ولا يدعو إعطاء الڤيتامين ا إلى الشفاء إلا إذا كان فساد العصب بسيطاً .

(٢) الفيتامين د D

أو الڤيتامين ضد الكساح

قد أمكن تحضير عدة مركبات كيميائية لها خواص الڤيتامين د ؛ وكلها مشتق من الكولسترول ($\text{ك}_{٢٧}\text{يد}_{٤٥}\text{ا يد}$) ، أو الأرجوستيرول (ergosterol) ($\text{ك}_{٢٨}\text{يد}_{٤٣}\text{ا يد}$) . ويكتسب الأرجوستيرول خواص الڤيتامين د بتعريضه للأشعة فوق البنفسجية (طول الموجة بين ٣١٣ و٢٥٠ $\times ١٠^{-٦}$ من المليمتر) .

وقد حضر من الأرجوستيرول — بعد تعريضه للأشعة — مركب بلورى يشابهه فى التركيب الكيميائى (isomer) ؛ وهو فعال جداً فى الوقاية والشفاء من مرض الكساح . وسمى هذا المركب كالسيفيرول (calciferol) . وقد كان يظن مبدئياً أن الكالسيفيرول هو الڤيتامين د الطبيعى لولا أنه وجد أخيراً أن تأثيره فى شفاء الكساح فى بعض الحيوانات يختلف عن تأثير زيت كبد الحوت الذى يحتوى على الڤيتامين الطبيعى . هذا وقد حضر مركب بلورى آخر من زيت كبد سمك التونا له الرمز الكيميائى $\text{ك}_{٢٧}\text{يد}_{٤٣}\text{ا يد}$ ، وله خواص الفيتامين . وهكذا نرى أنه قد حضرت عدة مركبات كيميائية

مختلفة يمكن بوساطتها وقاية الحيوانات وشفاؤها من مرض الكساح ، ولكن لا يعرف بالضبط أيها الڤيتامين د الطبيعى ، وربما كان هناك أكثر من ڤيتامين د طبيعى واحد .

وتبين الرموز التى فى صفحة ٢٨١ التركيب الكيميائى لمركبين من ڤيتامين د وعلاقتهما بالكولسترول وبالأرجوستيرول .

ويوجد الڤيتامين د بكثرة فى زيت كبد الهلبوت (Halibut) والحوت وفى الدهن الحيوانى — كالزبدة والقشدة واللبن ومحّ البيض (صفاره) . وتختلف كمية الڤيتامين د فى مستخرجات الألبان تبعاً لكميتها فى غذاء المواشى ودرجة تعرض المواشى لأشعة الشمس . ففى انجلترا مثلا تكثر الكمية فى الصيف وتقل فى الشتاء . ولا يوجد الڤيتامين د فى الزيوت النباتية إلا إذا عرضت للأشعة . ولا يتلف الڤيتامين د بتعقيم اللبن بطريقة باستير ولا بالغليان أو الأكسدة — وبذا يختلف عن الفيتامين ا الذى يتلف بالأكسدة . ومع ذلك فغالباً ما يكون الطعام العادى فقيراً فى الفيتامين د ؛ ويستحسن أن يضاف إليه بعض المواد الغنية به خصوصاً للأطفال الصغار .

أعراض نقص الفيتامين د : يسبب نقص الڤيتامين د مرض الكساح إذ أن هذا الڤيتامين مهم جداً فى عملية امتصاص الكالسيوم من الأمعاء وفى تكوين العظام وتكلسها . ويظهر المرض غالباً فى الأطفال بين سن ثلاثة أشهر وتسعة ؛ وقد يمكث بضع سنوات . ولكنه قابل للشفاء بتعاطى الڤيتامين د ، والتعرض لأشعة الشمس بما بها من الأشعة فوق البنفسجية ؛ إذ أن ذلك يدعو إلى تكوين الڤيتامين د من الأرجوستيرول[١] الموجود بطبقات الجلد ؛ ولذا ينتشر المرض فى فصل الشتاء وخصوصاً فى الجهات التى تقل فيها أشعة الشمس

---

(١) يعتقد بعضهم أن مصدر الفيتامين د الذى يتكون بالجلد تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية ليس الارجوستيرول بل مادة أخرى .

وفى المدن التى يكثر فيها الضباب والرطوبة والدخان والتراب ، إذ أن هذه تمنع كثيراً من الأشعة فوق البنفسجية . ويلاحظ أيضاً أن زجاج النوافذ العادى يمتص من الأشعة فوق البنفسجية كل الموجات التى يقل طولها عن ٣٢٠×١٠^{-٦} من المليمتر — أى أن الأشعة التى تمر منه ليس لها أى تأثير ضد الكساح .

وتكون العظام فى مرض الكساح لينة وهشة نظراً لعدم ترسيب فوسفات الكالسيوم بها ؛ فإذا حللت العظام كيميائياً وجد أنها تحتوى على كمية قليلة جداً من الكالسيوم والفسفور بالنسبة للعظام الطبيعية . وبينما نرى فى الأطفال الأصحاء أن كمية الفسفور والكالسيوم التى تؤخذ فى الطعام تزيد عن تلك التى تفرز بالبول والبراز ، (ميزان كالسيومى موجب) نرى فى مرض الكساح أن الكمية التى تفرز من هذه الأملاح معادلة أو تزيد عن تلك التى تؤخذ بالطعام (ميزان كالسيومى سالب) مما يدل على عدم استعمال هذه الأملاح لتكوين العظام بالجسم — وهكذا تنمو العظام وهى خالية من فوسفات الكالسيوم التى تعطيها القوة والصلابة ، فتنحنى العظام الطويلة ويتقوس الساقان وتتضخم المفاصل عند الكراديس (epiphysis) نتيجة لتكوين غضاريف ليس بها إلا القليل من أملاح الجير ويضيق الصدر من جانبية وتبرز عظمة القص الصدرية (sternum) إلى الأمام ، فيصبح شكل الصدر مشابها لصدر الطيور



(شكل ٥٧)
مرض الكساح فى طفلة مصرية عمرها سنتان
(مستشفى الأطفال . القصر العينى)

(pigoen chest) وذلك لعدم انتظام نمو الأضلاع ، كما تتأثر عظام الفكين والأسنان التى تتأخر فى الظهور ، وتظهر بغير نظام ويكون سطحها خشنا . ويبين (شكل ٥٧) طفلة مصابة بمرض الكساح ويظهر فيها جلياً تقوس العظام وتضخم المفاصل ويبين (شكل ٥٨) كلباً مصاباً بالمرض .



(شكل ٥٨)
كلب مصاب بمرض الكساح
(عن هاريس)

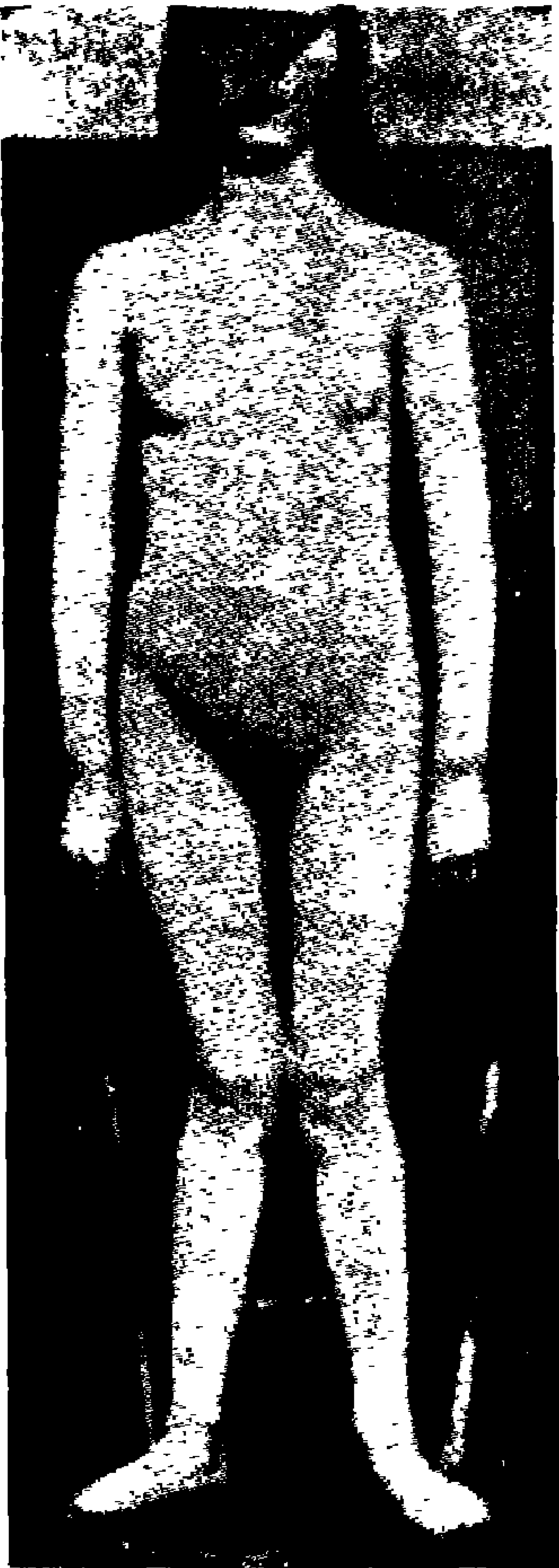


ب　　　　ا

(شكل ٥٩)
عظام الرسغ فى مرض الكساح
ا — قبل العلاج　　ب بعد إعطاء الفيتامين　　(مستشفى الأطفال . القصر العينى)

وإذا امتحنت العظام فى مرض الكساح بوساطة أشعة رونتچن ظهر ظلها أقل كثافة من ظل العظام الطبيعية . وكانت أطرافها غير منتظمة وغالباً مقعرة ، بعكس أطراف العظام الطبيعية التى تظهر مستقيمة أو محدبة .

ويبين (شكل ٥٩ ا) صورة ماخوذة بأشعة رونتچن لعظام الرسغ فى إحدى حالات مرض الكساح . و (شكل ٥٩ ب) نفس العظام بعد علاجها بالڤيتامين .



الكساح وقت البلوغ فى بنت عمرها ¾ ١٤ سنة وفى ولد عمره ١٥ سنة انظر اصطكاك الركب (Knock-knee) وتضخم مفاصل الرسغ والكعب (هاريس)



(شكل ٦٠)

وتصير محتويات الأمعاء فى حالات الكساح أقل حموضة من المحتويات الطبيعة ؛ ويصبح البراز قاعديا جداً فى تفاعله . وقلة الحموضة تسبب قلة امتصاص فوسفات الكالسيوم (انظر ص ٢٨٩) . وتقل فى مرض الكساح نسبة الفوسفور الغير العضوى فى الدم عن النسبة الطبيعية — أى عن ٣ مليجرامات فى كل ١٠٠ سم٣ — وهذا النقص من أول علامات المرض . وقد تكون نسبة الكالسيوم فى الدم طبيعية ؛ وقد تنقص فى بعض الحالات . وفى هذا يصحب المرض تقبض تيتنوسى مستمر فى العضلات (tetany) .


(شكل ٦١)
لين العظام
(هاريس)

هذا وقد يحدث المرض فى الكبار — وخصوصاً وقت البلوغ (شكل ٦٠) وفى النساء وقت الحمل والرضاعة (شكل ٦١) إذا كان طعامهن قليل الفيتامين والكالسيوم وقل تعرضهن لأشعة الشمس . ويسمى المرض فى هذه الحالة بمرض لين العظام (ostoemalacia) . وقد يدعو المرض إلى تشوه عظام الحوض والفخذين مما يجعل الولادة متعسرة إلا بعملية الشق القيصرى (Caesarian section) .

(٣) الفيتامين هـ E (ضد العقم)

يذوب الفيتامين هـ فى الدهن ومذيبات الدهون وقليل فى الماء . وقد أمكن الحصول عليه بلوريا نقيا ؛ ويقال إنه كحول عال له الرمز ك$_{٢٩}$ يد$_{٥٠}$ أ$_{٢}$. ويوجد بكثرة فى الخضروات — كالخس والبسلة — وفى جرثومة كثير من الحبوب كالقمح ، وفى معظم الزيوت النباتية .

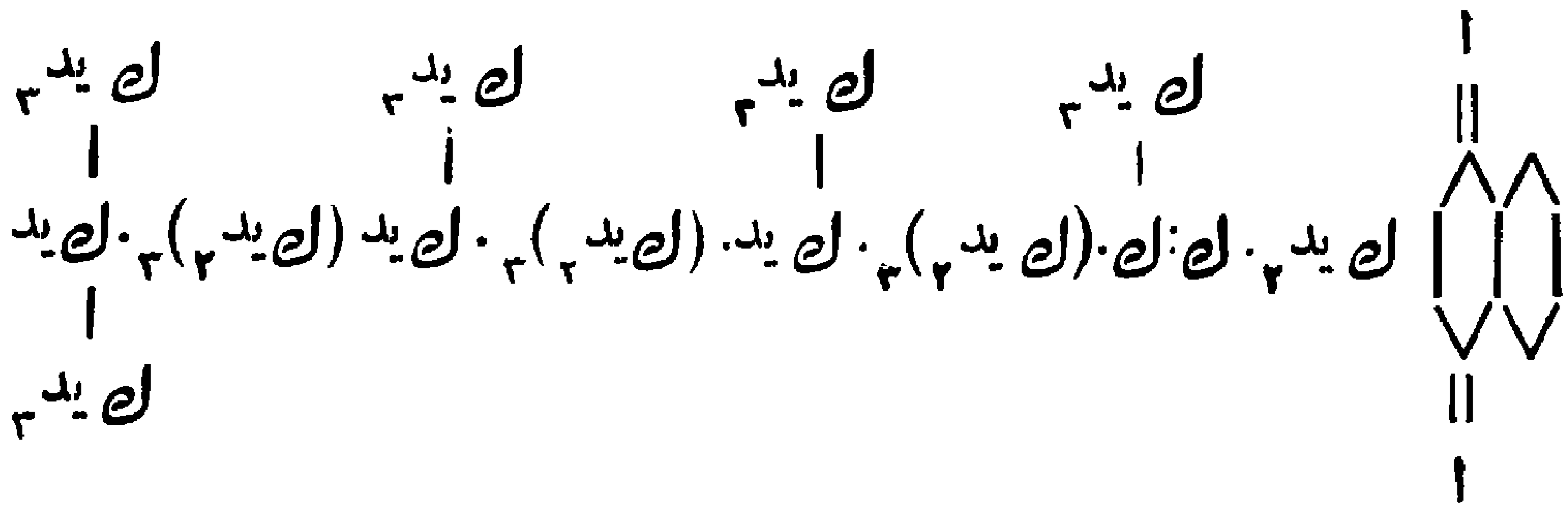
اعراض نقص الفيتامين هـ : يسبب نقص هذا الڤيتامين من طعام الفئران العقم . ويحصل ذلك بالتدريج فى الذكر ؛ إذ تصبح الحيوانات المنوية أولا أقل حركة ثم تختفى ؛ ويصيب الخصيتين الضمور . ويدعو نقص الڤيتامين فى الأنثى إلى إجهاض الجنين قبل ميعاد الولادة ، مما يسبب وفاته . ولا يعلم للآن إن كان للڤيتامين نفس الأهمية فى الإنسان . ويدعى بعضهم أنه باستعمال خلاصات مركزة من هذا الڤيتامين أمكن علاج بعض حالات الإجهاض المتكررة .

(٤) الفيتامين ك K

أو الفيتامين ضد النزيف

الڤيتامين ك هو ڤيتامين يذوب فى الدهون ؛ ويوجد فى دهن الكبد والسمك ومح البيض وفى الخضروات كالجزر والطماطم وفى ردة الأرز . ويختلف عن الكاروتين . ونقصه من الطعام يدعو إلى إطالة المدة اللازمة لتجلط الدم فيحدث النزيف تحت الجلد وفى البطن وفى العضلات . ويتسبب من ذلك فقر الدم ويصيب هذا المرض الفراخ والبط والأوز والحمام . ولكنه لا يحدث فى الفئران وخنزير غينا والكلاب . ويظن أن الڤيتامين ينظم بطريقة ما تكوين البروثرمبين (prothrombin) الذى يلزم لتجلط الدم .

وفى غيابه تنخفض نسبة البروثرومين فى الدم . وإذا انخفضت النسبة إلى أقل من ٢٠ فى المائة من النسبه الطبيعية طالت مدة تجلط الدم وحدث النزيف وإذا أعطى القيتامين مع أملاح الصفراء التى تساعد امتصاصه من الأمعاء ارتفعت النسبة فوق هذا المستوى الخطر ووقف النزيف وقد أمكن معالجة كثير من حالات النزيف من الرئة ومن مواضع أخرى فى الأنسان بوساطة هذا القيتامين ، مما يدل على أن الأنسان عرضة لأعراض نقص هذا القيتامين فى غذائه . والرمز التركيبي لهذا القيتامين هو :



الفيتامينات الذائبة فى الماء

الفيتامين ب

أعطى هذا الاسم مبدئياً للقيتامين ضد التهاب الأعصاب (ضد مرض البرى برى) (Beri-beri) ثم ظهر بعد ذلك أن ما كان يسمى بالقيتامين ب يتكون فى الواقع من قيتامينين : أحدهما يمنع حدوث مرض البرى برى ، والآخر يمنع حدوث مرض البلاجرا (Pellagra) — فأعطى الأول لقب قيتامين $ب_1$ وأعطى الثانى لقب $ب_2$ ، وهما غالباً يوجدان معاً فى نفس مواد الطعام ، ولكن أمكن أخيراً التمييز بينهما إذ أن الخميرة الطازجة تمنع حدوث البرى برى والبلاجرا ، فى حين أنه إذا رفعت درجة حرارتها فى الأوتوكلاف (autoclave) فقدت مقدرتها على منع أو شفاء البرى برى وبقيت قوتها فى

منع مرض البلاجرا وشفائه. ثم وجد أن مستخرج الذرة له قوة ضد مرض البرى برى فى حين أنه لا يمنع مرض البلاجرا.

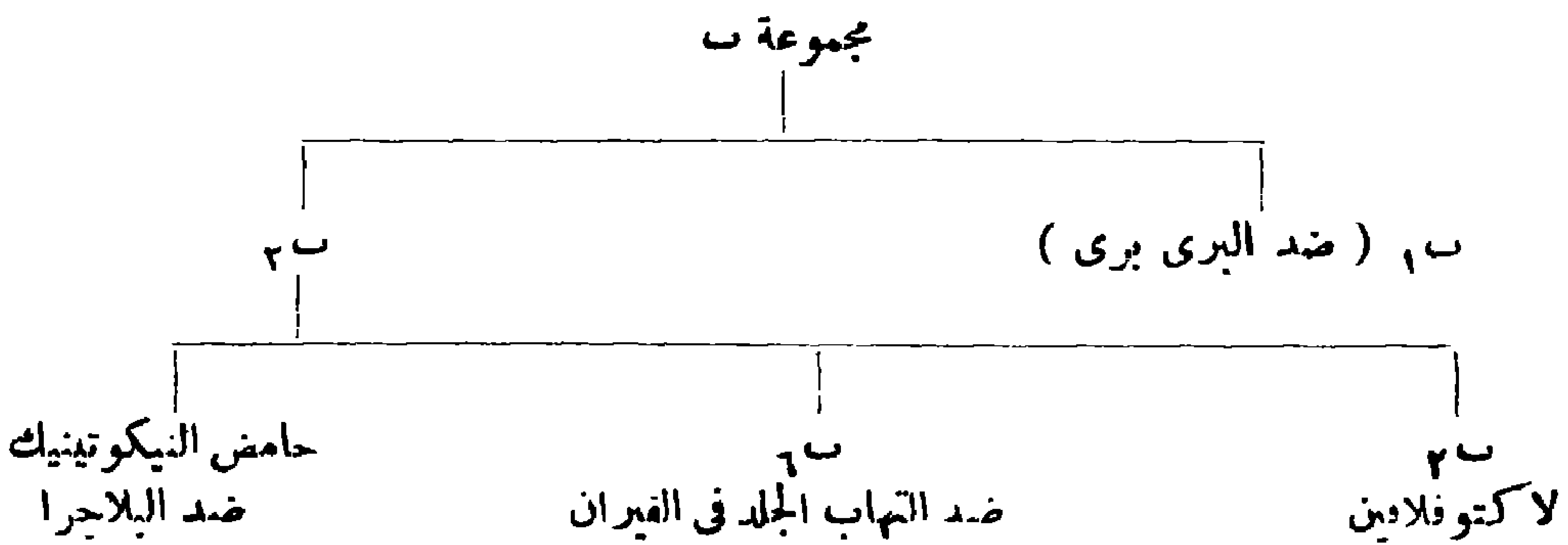
ثم ظهر بعد ذلك أن الفيتامين ب ٢ — أى الفيتامين ضد البلاجرا — يتكون من ثلاثة فيتامينات على الأقل، مما أدى إلى بعض الارتباك.

أولا: الفيتامين ضد البلاجرا، ويستحسن تلقيبه باسمه الكيميائى، إذ أنه قد أصبح معروفاً أن هذا الفيتامين هو حامض النيكوتينيك (nicotinic acid)

ثانياً: الفيتامين ضد التهاب الجلد فى الفئران وسمى فيتامين ب ٦.

ثالثاً: اللاكتوفلافين (Lactoflavin)، وهو يلزم للنمو، وبعضهم يحتفظ له باسم ب ٢ بدلا من الفيتامين ضد البلاجرا. وبعضهم يكتفى بالاسم الكيميائى لاكتوفلافين.

ويمكن تقسيم مجموعة فيتامين ب كما يأتى:



هذا وقد اكتشفت فيتامينات أخرى لها تأثير فى بعض الحيوانات، وأطلق عليها ب ٣ و ب ٤ و ب ٥، ولكن لا يعرف للآن شىء عن تركيبها الكيميائى أو عن تأثيرها فى غذاء الانسان.

الفيتامين ب$_{١}$ B$_1$

أو الڤيتامين ضد التهاب الأعصاب

أمكن تحضير هذا الڤيتامين على شكل بلورات كيميائية ؛ ورمزه الكيميائى هو ك$_{١٢}$ يد$_{١٧}$ ز$_{٤}$ ا كب . ويوجد فى هذا الڤيتامين نواة من بيريميدين (Pyrimidine) وأخرى من ثيازول (Thiazole) . وقد سمى ثيـــامين (Thiamin) . والرمز التركيبي لهذا الڤيتامين حينما يحضر من محلول حامض الكلوردريك هو :

ز ═ ك . ز يد$_{٢}$ ك يد ــ كب

ك يد$_{٣}$ ــ ك ك ــ ك يد$_{٢}$ ــ ز

ز ــ ك يد كل ك ═ ك ــ ك يد$_{٢}$. ك يد$_{٢}$. ا يد

ك يد$_{٣}$

ويوجد هذا الڤيتامين بكثرة فى الخميرة الجافة وجنين القمح والرز وغلال أخرى . ويوجد أيضاً فى عصير البرتقال والطماطم وبعض الخضروات كالكرنب ؛ ويحتوى اللبن على كمية قليلة منه .

ويذوب هذا الڤيتامين فى الماء وفى ٧٠ ٪ من الكحول وفى الأسيتون . وإذا كان الوسط حامضياً لا يتأثر بالغليان عند درجة ١٠٠ مئوية لعدة ساعات حتى مع التعرض للهواء ؛ ولكنه يتلف فى درجات الحرارة العالية ــ بعكس الڤيتامين ب$_{٢}$ الذى لا يتلف حتى فى درجة حرارة عالية كالموجودة فى الأوتوكلاف (autoclave) ويتلف الڤيتامين ب$_{١}$ بسرعة بوساطة القواعد .

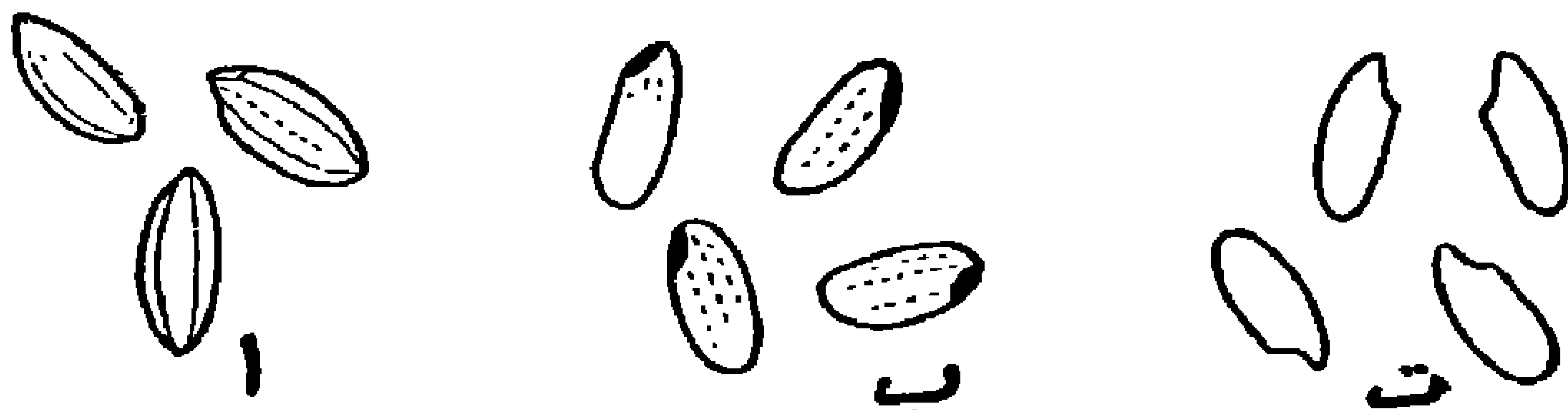
أعراض نقص الفيتامين ب ١ يسبب نقص هذا الڤيتامين من الطعام التهابات فى الأعصاب (Polyneuritis) تدعو إلى شلل العضلات وإلى فقد الحساسية (شكل ٦٢). ويسمى المرض فى الانسان بمرض البرى برى (Beri-Beri). والمرض نوعان: أحدهما يكون مصحوباً بأوذيما (oedema) والآخر غير مصحوب بها.



(شكل ٦٢) مرض البرى برى
(عن هاريس)

وينتشر المرض فى الجهات التى يتكون معظم الطعام فيها من الأرز بعد تبييضه — كاليابان والصين والهند. ويشفى المرض إذا ما أضيف إلى الطعام الڤيتامين ب ١ أو ما يفصل من الأرز فى عملية التبييض (شكل ٦٣).

وقد أمكن إحداث المرض فى الحيوانات — كالفراخ والحمام والكلاب — بحذف الڤيتامين ب ١ من الطعام، وشفاؤها بإضافة الڤيتامين. ويبين (شكل ٦٤ ا)



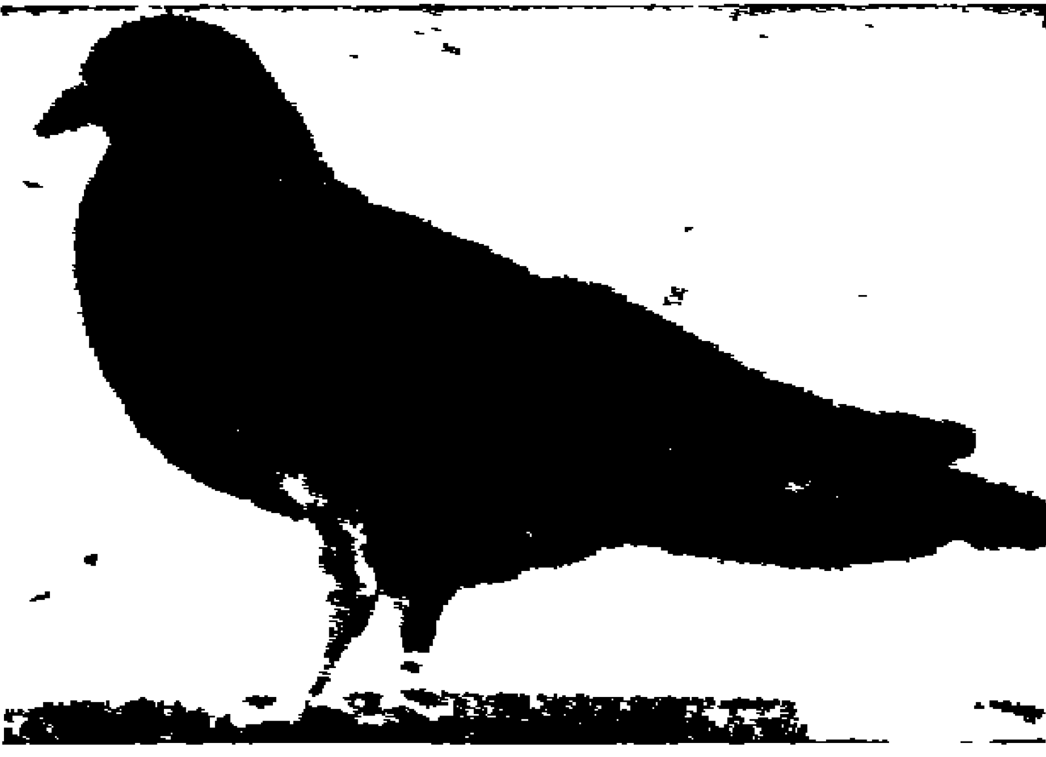
(شكل ٦٣)

حب الرز

ا — قبل عملية التبييض
ب — بعد نزع القشور الخارجية وبقاء الجنين (البقعة السوداء) الذى يحتوى على الڤيتامين
ت — بعد عملية التبييض . وتنزع هذه العملية الجنين مع القشور (عن هاريس)

حمامة مصابة بالمرض ؛ ويلاحظ وضعها غير الطبيعي : فالرأس إلى الخلف ؛ والحيوان لا يمكنه الوقوف . ويبين الشكل (٦٤ ب) نفس الحمامة بعد معالجتها بالڤيتامين .





ا ب

(شكل ٦٤)

(عن شومان)

وهناك أدلة على أن إحدى وظائف هذا الڤيتامين على الأقل تتعلق بالتمثيل الغذائى لمائيات الكربون فى النسيج العصبى . فالڤيتامين ، متحداً مع حامض بيروفوسفوريك ، يكون مساعداً (Co—enyyme) للخميرة كاربوكسيليز (Carboxylase) التى تؤثر فى حامض پيروڤيك وتحوله إلى أسيتالدهيد (Acetaldehyde) . ففى غياب الڤيتامين لا تعمل هذه الخميرة فيتراكم حامض پيروڤيك وحامض اللبنيك بكميات كثيرة فى النسيج العصبى وفى الدم . وتزيد أعراض نقص الڤيتامين ب ١ إذا كان الطعام غنيا بمائيات الكربون . وفضلا عن ذلك وجد أنه إذا أخذت قطع من مخ حيوان بعد إصابته بمرض التهاب الأعصاب نتيجة لنقص الڤيتامين ب ١ وجدت أنها تستهلك كميات من الأوكسيچين أقل من مخ الحيوانات العادية ، ويتراكم بها حامض الپيروڤيك وحامض اللبنيك . وإذا أضيف إليها الڤيتامين ب ١ زادت كمية الأوكسيچين التى يستعملها النسيج العصبى وقلت كميات حامض اللبنيك والپيروفيك الموجودة بها .

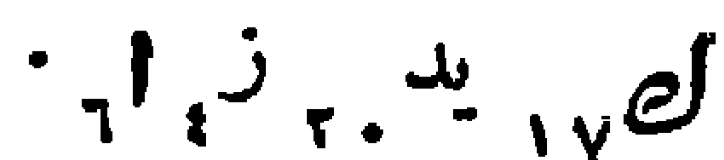
ويدعو نقص الڤيتامين من طعام الفيران إلى نقص كبير فى سرعة ضربات القلب (Bradycardia) .

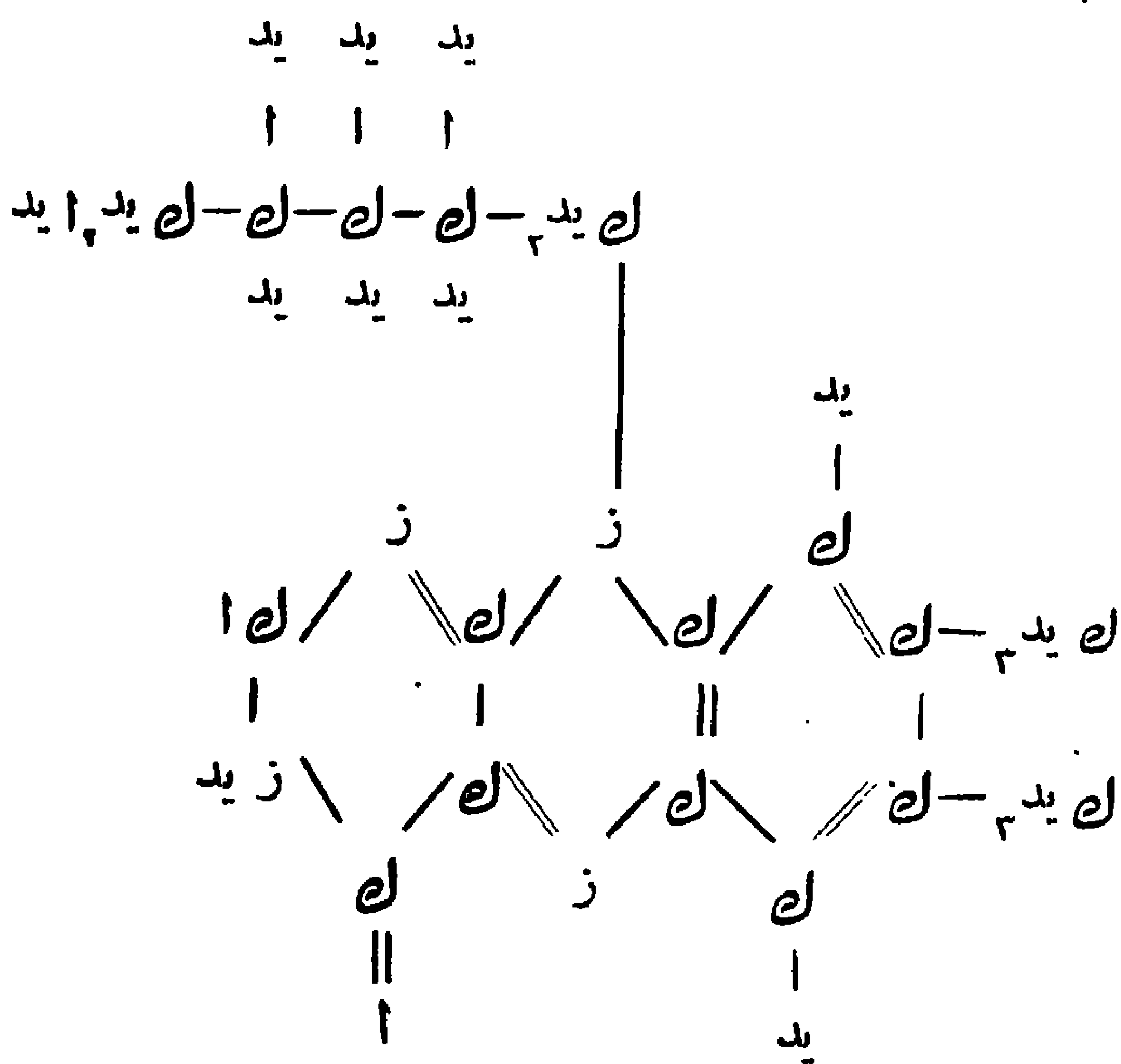
ويصحب التهاب الأعصاب فى هذا المرض بعض الخلل فى الجهاز الهضمى . وربما كان ناتجاً من التهاب أعصابه فتقل حركة المعدة والأمعاء وينضمر الغشاء المخاطى ويقل الإفراز ، وينشأ عن ذلك فقد شهية الشخص أو الحيوان فيقف نموه .

(٢) الفيتامين ب٢ B_2

أو اللاكتوفلاڤين اللازم للنمو

يلزم هذا الڤيتامين للنمو . وهو يتبع فصيلة من الأصباغ الصفراء الوضاءة (fluorescent) تسمى فلاڤينات (favins) . وربما كان رمزه الكيميائى





وهو يذوب فى الماء وفى ٥٠٪ من الكحول ولكنه لا يذوب فى ٨٠ ٪ من الكحول . وهو أكثر احتمالا للحرارة من ڤيتامين ب ١ ، فلا يتلف فى درجة حرارة الأتوكلاف . ويوجد هذا الفيتامين بكثرة فى الخميرة وفى الكبد واللحم والخضروات ؛ ويوجد أيضاً فى بياض البيض وشرش اللبن.

وقد وجد أن الفلاڤين — باتحاده مع بروتين — يكون خميرة مهمة فى عملية تنفس الخلايا ، أى فى عملية أكسدة المواد بالأنسجة (أنظر باب تنفس الأنسجة بالجزء الثانى) .

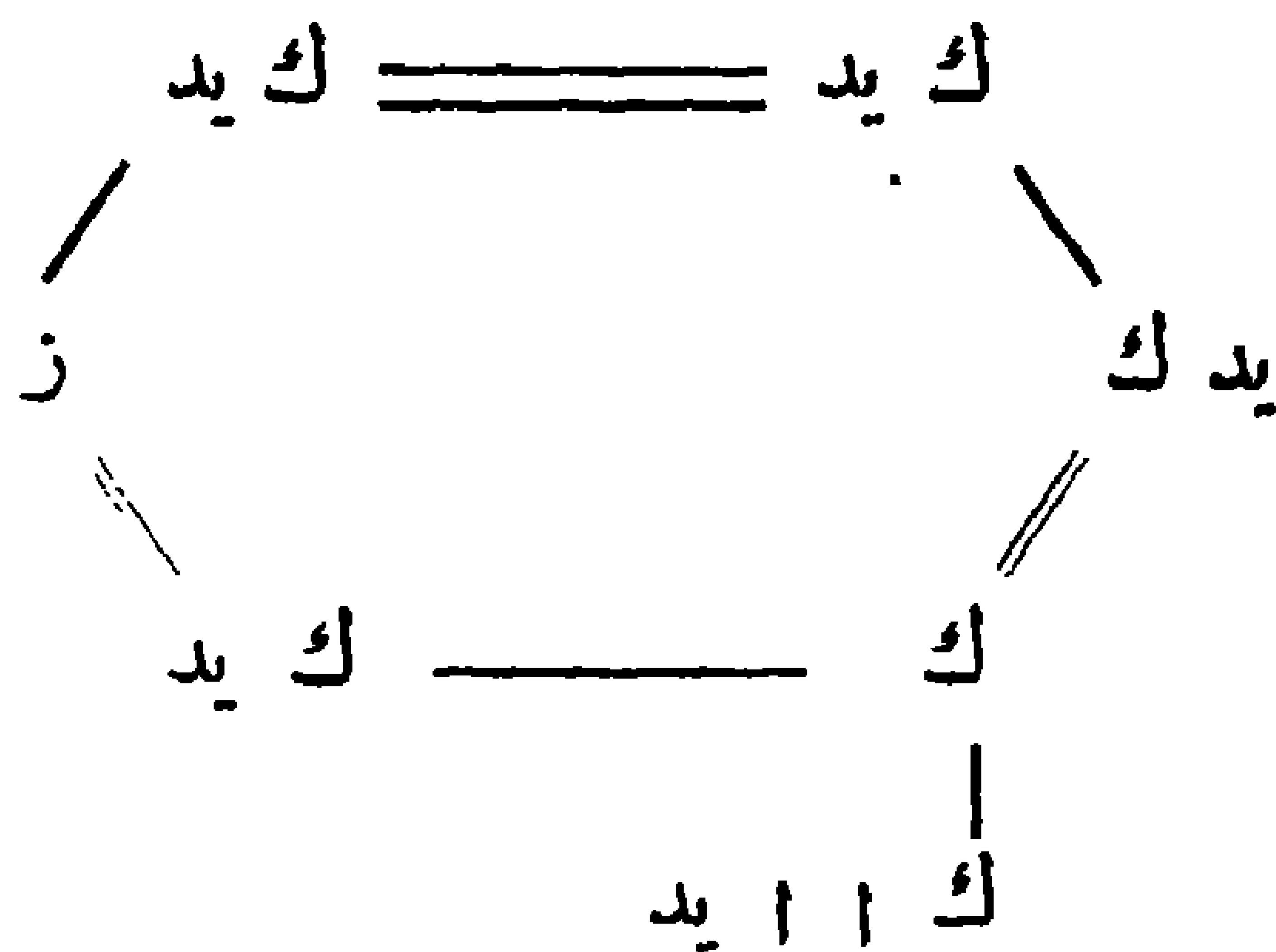
أعراض نقص الفلاڤين من الطعام : يدعو نقص هذا الڤيتامين من الطعام إلى وقف النمو . فقد وجد أنه إذا أعطى الفئران طعاما كاملا وبه الڤيتامينين ا ، ب ١ . ولكن ينقصه الفلاڤين وقف نموها حتى يضاف الفلاڤين إلى الطعام .

والصغار الذين لا ينمون بدرجة طبيعية غالباً ما يكون طعامهم ناقصاً فى هذا الڤيتامين . فقد أجرى تسدال (Tisdall) تجربة على مجموعتين من الأطفال ، فأضاف إلى طعام مجموعة منهم كمية من الڤيتامين ب بأقسامه ، وأعطى المجموعة الثانية نفس الطعام ولكن بدون إضافة الڤيتامين اليه ، فكان متوسط نمو أفراد المجموعة الأولى فى سبعة شهور معادلا ١٫٦ من متوسط نمو أفراد المجموعة الثانية .

(٣) الفيتامين ضد البلاجرا

(Anti Pellagra or P. P. Factor)

يوجد هذا الڤيتامين فى المواد المحتوية على الڤيتامين ب ٢ بأقسامه . فيوجد بكثرة فى الخميرة وفى جنين الحبوب . وقد عرف أن هذا الڤيتامين هو حامض نيكوتينيك (nicotinic acid) . فقد أمكن حديثاً شفاء مرض البلاجرا بهذا الحامض . ورمزه التركيبى هو :



ويوجد مرض البلاجرا فى الجهات التى يتعاطى أهلها الذرة كطعامهم الأساسى — كمصر وإيطاليا وأسبانيا وجنوب الولايات المتحدة . ويحدث المرض سواء كانت الذرة تؤخذ بأكملها أو بعد عملية التبيض واستئصال الجنين.

وأهم أعراض المرض (شكل ٦٥) هو احمرار الجلد والتهابه وجفافه وتكون قشور به فى الأجزاء المعرضة لأشعة الشمس كالخدود والأنف والرقبة وظهر اليد ، والتهاب وتقرح باللسان وخلل فى الجهاز الهضمى مصحوب باسهال ؛ وفساد الخلايا العصبية والطرق العصبية الموجودة بالمخ والنخاع الشوكى ، فتضعف العضلات وترتعش ، وأخيراً قد يصاب الشخص بالجنون . هذا ومن العوامل التى تساعد على ظهور المرض تناول طعـــام ليس به بروتينات ذات قيمة حيوية عالية ، أى طعام ينقصه بعض الأحماض الأمينية .



(شكل ٦٥)
مصرى مريض بالبلاجرا
(مستشفى الأطفال — القصر العينى)

وقد كانت الفكرة المبدئية أن مرض البلاجرا ينتج من نقص فى الأحماض الأمينية وليس من نقص فى الڤيتامين .

ويصيب الكلاب مرض يشابه مرض البلاجرا فى الانسان يسمى مرض اللسان الأسود (Black tongue)، فتظهر بالحيوان تقرحات فى اللسان والغشاء المخاطى للفم ويلتهب جلد الصفن (scrotum) . ويشفى المرض باضافة المواد المحتوية على مجموعة الڤيتامين ب إلى الطعام كما أمكن شفاؤه بوساطة حامض نيكوتينيك .

وبالنسبة لأهمية هذا المرض فى مصر قد قدرت حديثا[1] قيمة حامض النيكوتينيك فى كثير من الأغذية المصرية الشائعة ووجد أنه يوجد بكثرة فى البلح بأنواعه وخصوصاً الجاف (الابريمى) وفى سن القمح الأحمر والأبيض كما توجد كميات متفاوتة منه فى دقيق القمح وفى الخضروات المصرية كالملوخيا والباميا والقرع والباذنجان والخبيزة والفجل وفى الفواكه كاليوسفى والليمون والبرتقال .

الڤيتامينات ب$_{٣}$ و ب$_{٤}$ و ب$_{٥}$ و ب$_{٦}$

لا يعرف عن هذه الڤيتامينات شيء كثير من حيث تركيبها الكيميائى أو من حيث وظيفتها فى الانسان . وكل ما يثبت وجودها هو أنه باضافة الڤيتامينات المعروفة ب$_{١}$ و ب$_{٢}$ إلى طعام حيوانات غذيت مدة بالأرز بعد تبييضه حتى أصابها التهاب الأعصاب ووقف نموها لا يمكن شفاؤها تماما إلا إذا أضيف إلى الطعام الخميرة بأكملها أو مواد أخرى مخصوصة .

الڤيتامين ب$_{٣}$ — ويلزم لنمو الحمام والدجاج الذى يغذى بالأرز بعد تبييضه ، ولكنه لا يلزم للفئران . ويختلف عن الفيتامين ب$_{٢}$ بأنه يتلف بالحرارة .

(١) معمل الكيمياء الحيوية ، كلية الطب الملكية ، تحت اشراف الأستاذ على حسن .

الڤيتامين ب$_{٤}$ — ويلزم لنمو الفئران والحمام . ويسبب نقصه ضعفاً فى العضلات ، ويوجد فى جنين القمح ؛ ويتلف بسرعة بالحرارة .

الڤيتامين ب$_{٥}$ — ويلزم لنمو الحمام بعد تغذيته بالرز بعد تبييضه ، ويختلف عن الڤيتامين ب$_{١}$ وب$_{٤}$ بأنه لا يتلف بالحرارة فى الوسط القاعدى .

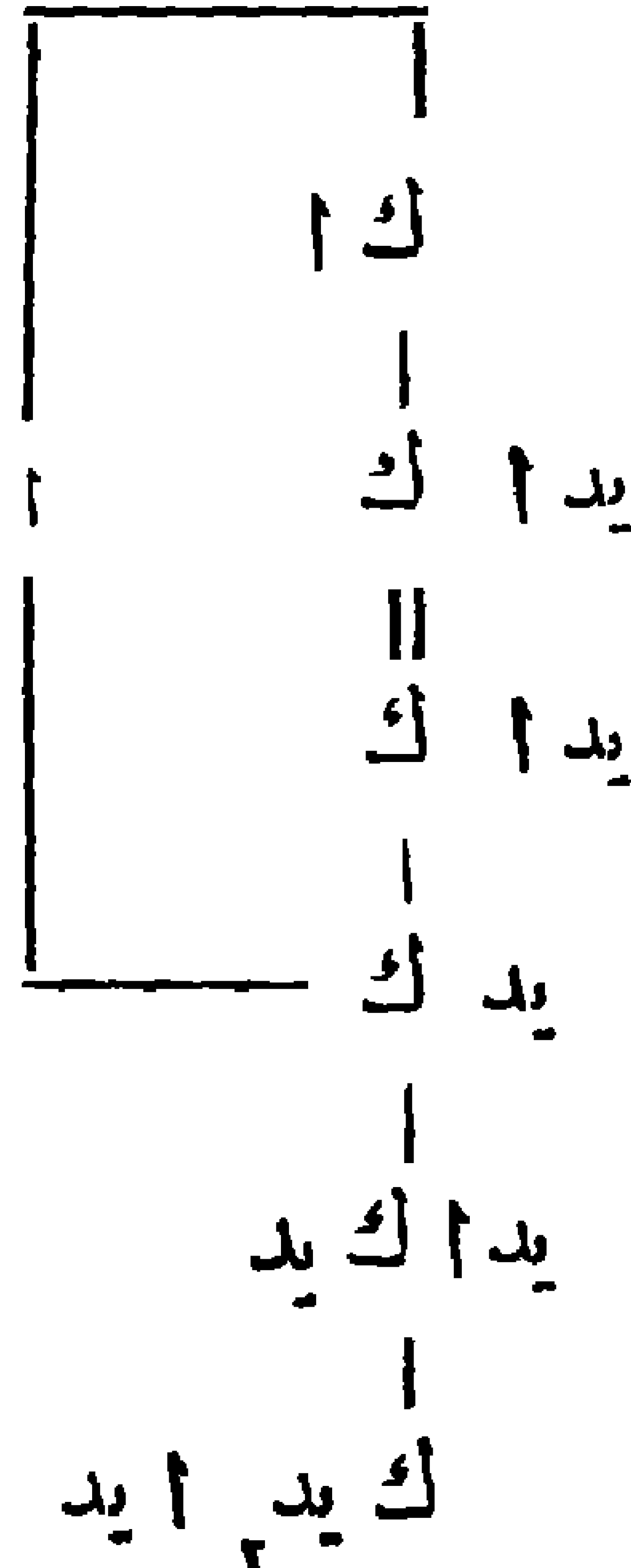
الڤيتامين ب$_{٦}$ — ويدعو نقصه إلى التهاب الجلد فى الفئران .

(٤) الڤيتامين ج G

الڤيتامين ضد مرض الأسقربوط

حضر هذا الڤيتامين على شكل بلورات بيضاء ، ورمزه الكيميائى ك$_{٦}$ يد$_{٨}$ ا$_{٦}$ ، وهو عبارة عن حامض أسكوربيك (ascorbic acid) .

ورمزه التركيبي هو :



وهو سريع التأكسد ، ويتلف بسرعة بالحرارة ، فغليان الأطعمة أو تجفيفها أو حفظها يجعلها خالية من الڤيتامين ، وإذا استعملت أوان نحاسية فى طبخ الطعام تلف الڤيتامين بسرعة عما إذا كانت الأوانى من الألومنيوم أو

الصاج ، إذ أن النحاس يساعد على أكسدة الفيتامين ، وإذا سخن اللبن لدرجة ٦٠ مئوية لمدة نصف ساعة (طريقة باستير) فى إناء نحاسى تلف بين ٨٠ و ٩٠ فى المائة مما به من الفيتامين فى حين أنه إذا سخن فى إناء من الألومنيوم أو الصاج فقد اللبن جزءاً صغيراً فقط مما به من الفيتامين ج .

ويوجد الفيتامين ج بكثرة فى عصير الفواكه ، وخصوصاً الموالح كالبرتقال والليمون ، وفى بعض الخضروات كالطماطم والكرنب والسبانخ ، ويوجد بكميات قليلة فى اللحم واللبن .

أعراض نقص الفيتامين ج : يسبب نقص الفيتامين ج من الطعام مرض الاسقربوط . وقد كان هذا المرض معروفا من زمن قديم ، فقد كان آفة مهلكة للبحارة فى رحلاتهم الطويلة ، وللممالك التى فى شمال أوربا وقت الشتاء حينما يندر وجود الخضروات والفواكه الطازجة وخصوصاً وأن زراعة البطاطس[١] لم تكن معروفة فى أوربا . ومما يذكر للدلالة على درجة انتشار مرض الأسقربوط بين البحارة فى تلك الأزمنة أنه لما قام فاسكوداجاما (Vasco da Gama) برحلته حول رأس الرجاء الصالح فى سنة ١٤٩٨ مات بهذا المرض مائة بحار من رجاله البالغ عددهم ١٦٠ . وفى عام ١٧٢٠ اكتشف طبيب من أطباء الجيش النمسوى ويدعى كرامر (Kramer) أنه يمكن شفاء هذا المرض بثلاث أو أربع أوقيات من عصير البرتقال دون أى دواء آخر .

وقد قال الكابتن لند (Lind) فى سنة ١٧٥٧ فى كتابه عن مرض الأسقربوط ، أنه يمكن شفاء أشد الحالات صعوبة فى مدة ستة أيام بعصير البرتقال والموالح الأخرى . وهكذا أمكن التغلب على هذا المرض ؛ ولكن ذلك لا يعنى عدم وجوده بعد ذلك ؛ إذ أنه لأسباب حربية أو اقتصادية كثيراً ما ينتشر المرض

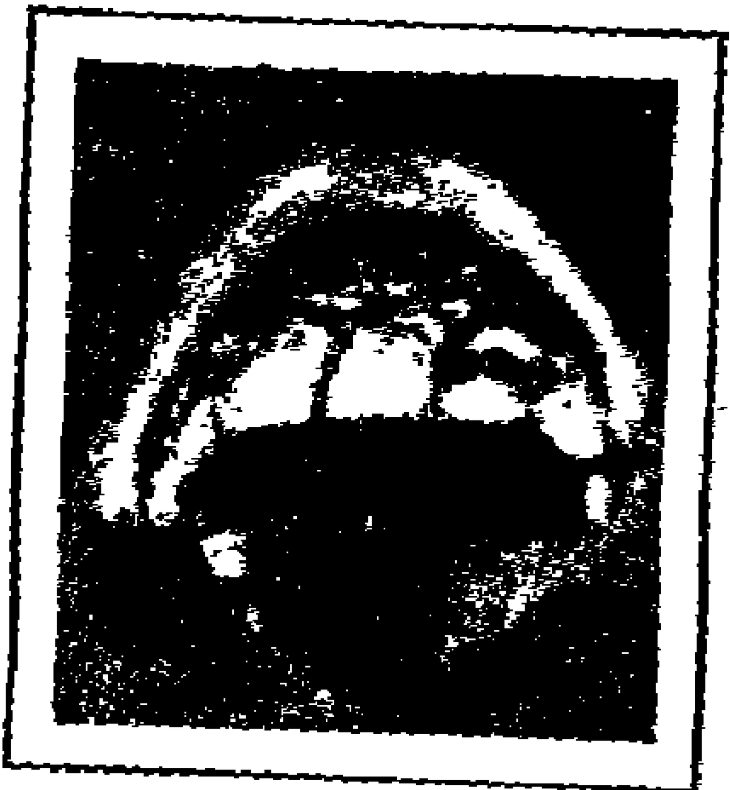
---

(١) البطاطس مصدر جيد للفيتامين ج .

إذا انعدمت أو قلت مصادر الڤيتامين ج من الطعام . وقد ظهر المرض بكثرة فى الحرب الأوروبية (١٩١٤ — ١٩١٨) فى جهات كثيرة من أوروبا خصوصاً فى فصائل الجيوش التى فى المقدمة.

ويحدث المرض فى الأطفال الصغار . إذ اللبن فقير به وكما سبق أن قلنا فان الڤيتامين يتلف بسهولة بتحضير اللبن ولذا يستحسن دائماً أن يعطى للأطفال الرضيعة بعضاً من عصير البرتقال الطازج .

وأهم أعراض هذا المرض هو قابلية الجسم للنزيف بسهولة ، فيحدث النزيف باللثة فتصبح لينة وإسفنجية وتتزعزع الأسنان، ويحدث النزيف تحت الجلد وفى المفاصل حيث يسبب ألماً شديداً . (شكل ٦٦) .





(شكل ٦٦)
مرض الاسقربوط (عن هاريس)

ويمكن بوساطة أشعة رونتجن رؤية تغييرات فى العظام . وتصاب الأسنان فى المرض فتفسد الخلايا التى تكون عاج السن (dentine) فلا يتكون عاج كما لا يتكون ميناء الأسنان (enamel) .

ويصحب مرض الأسقربوط فقر الدم، وفقر الدم الذى يوجد فى هذا المرض أكثر من أن يتسبب من الأنزفة التى يحدثها المرض ، ولذلك يظن أن الڤيتامين ج أساسى لتكوين كرات الدم الحمراء بوساطة نخاع العظام .

ويكون المرضى بالأسقربوط — أو الذين لايتناولون كمية كافية من الڤيتامين ج ولكن لم يظهر عليهم أعراض المرض بعد — معرضين للعدوى بالأمراض المعدية . ويستعمل ڤيتامين ج فى علاج كثير من الحميات وعند إعطائه لا يظهر بالبول إلا بكميات أقل من ظهوره

فى الحالات الطبيعية مما يدل على استعماله فى الجسم لمكافحة المرض أو لتكوين أجسام مضادة نوعية (specific antibodies).

وأما فى الحيوانات فيحدث المرض فى بعضها دون الآخر . فيحدث فى خنزير غينا وفى القرود ، فى حين أنه لا يحدث فى الكلاب والفئران ومعظم حيوانات المزارع الأليفة ، والسبب فى ذلك أن هذه الحيوانات يمكنها أن تصنع الڤيتامين فى جسمها ولا تحتاج إليه فى الطعام .

كيفية عمل الڤيتامين ج : لحامض الأسكوربيك قوة اختزال كبيرة وفى الغالب انه يلزم لعمليات الأكسدة فى خلايا الجسم (أنظر باب تنفس الأنسجة بالجزء الثانى) . وفى غيابه لا يمكن لبعض الخلايا أن تقوم بوظائفها وبذا تضعف جدران الشعريات الدموية ، فيحدث النزيف ، وتضعف خلايا الأسنان (odcntoblasts) فلا تتكون الأسنان طبيعياً ، وهكذا .

الباب الخامس والعشرون

الغـذاء الكامل

(Adequate Diet)

الغذاء الكامل هو الذى يدعو إلى النمو والصحة والإخصاب ، ولكى يكون الطعام كاملا يجب أن تتوفر فيه الشروط الآتية :

أولا : يجب أن يكون الطعام شهياً حتى يستدر الإفرازات العصبية والنفسية للعصارات الهضمية المختلفة ، ويجب أن يكون مطبوخاً جيداً ، سهل الهضم حتى يتمكن الجسم من الاستفادة منه .

ثانيا : يجب أن تكون كمية الطعام — أى قيمته الحرارية — كافية لحاجات الجسم حتى لا يرغم على استعمال أنسجته الخاصة للحصول على الطاقة اللازمة له . ومن الواضح أن كمية الطعام اللازمة تختلف من شخص إلى آخر بحسب سن الشخص ونوعه والمجهود الرياضى الذى يقوم به ودرجة حرارة الجو الذى يعيش فيه .

والأساس فى تقدير كمية الطعام اللازمة لأى شخص أن يحسب له ما يعوضه عن طاقة التمثيل الغذائى القاعدى والمجهود الرياضى الذى يقوم به. ويضاف إلى ذلك ما يلزم عوضاً عن الفعل النوعى الديناميكى للطعام وعما قد يفقد من الطعام فى عملية تحضيره وطبخه .

وعلى سبيل المثال يمكن تقدير الكمية اللازمة لشخص يقوم بمجهود رياضى فى اليوم يعادل ١٠٠٫٠٠٠ كيلو جرام متر كما يأتى :

١ — لنفرض أن مساحة سطح جسم الشخص ١٫٨ من المتر المربع

وسنه ٢٠ سنة — فيكون مايلزم فى اليوم الواحد عوضاً عن التمثيل الغذائى القاعدى . . . . = ٤٠ × ١,٨ × ٢٤ = ١٧٢٨ سعراً

ولما كان التمثيل الغذائى القاعدى أقل بمقدار ١٠ ٪ وقت النوم فيجب خصم ذلك (مدة النوم ٨ ساعات) وهو . $\frac{١٠ × ٨ × ١,٨ × ٤٠}{١٠٠}$ = ٥٨ سعراً

∴ مايلزم للتمثيل الغذائى القاعدى = ١٧٢٨ — ٥٨ = ١٦٧٠ سعراً

ب — كل سعر حرارى واحد = ٤٢٦,٥ كيلو جرام متر وعليه تكون القيمة الحرارية للمجهود الرياضى = ٢٣٠ سعرا . ولما كانت القدرة الميكانيكية للجسم ٢٠ ٪ (ص ١٥٥) فانه للقيام بهذا المجهود الرياضى يصرف الجسم . . $\frac{١٠٠ × ٢٣٠}{٢٠}$ = ١١٥٠ سعراً

∴ ١ + ب . . . . . = ١٦٧٠ + ١١٥٠ = ٢٨٢٠ سعراً

حـ — يضاف إلى ذلك ٧ ٪ تقريباً نظراً للفعل النوعى الديناميكى للطعام المتكون من مواد الغذاء الثلاث فيكون الناتج . . . . $\frac{١٠٧ × ٢٨٢٠}{١٠٠}$ = ٣٠١٧ سعراً

ء — يضاف إلى ذلك ١٠ ٪ نظراً لما يفقده الطعام فى عملية الطبخ فتكون القيمة الحرارية للطعام الخام النيء الذى يجب إعطاؤه للشخص . . . = $\frac{١١٠ × ٣٠١٧}{١٠٠}$ = ٣٣١٩ سعراً

ضربنا المثل المتقدم حتى يمكن اتباعه عند تقدير الطعام اللازم لأى

هيئة من الهيئات ويبين جدول (١٢) القيمة الحرارية التي تلزم عوضاً عن المجهود الرياضي في الهيئات المختلفة .

جدول (١٢)

نوع المعيشة	القيمة الحرارية التي تعوض المجهود
	سعرا
حياة خاملة	من ٥٠٠ إلى ٦٠٠
عمل خفيف (تاجر)	من ٨٠٠ إلى ١٢٠٠
عمل متوسط (ميكانيكي)	من ١٢٠٠ إلى ١٥٠٠
عمل شاق (فاعل أو رياضي)	من ١٥٠٠ إلى ٤٠٠٠

ويلاحظ عند تموين العائلات أن الأطفال يحتاجون إلى كميات أكبر من الغذاء بالنسبة لأوزانهم ، فبينما يحتاج الشخص البالغ على المتوسط إلى ٤٦ سعرا حراريا في اليوم لكل كيلو جرام من وزنه ،نرى أن الأطفال دون الثانية من العمر يحتاجون إلى ١٠٠ سعر حراري لكل كيلوجرام ، والأطفال من سنتين إلى ١٤ سنة يحتاجون إلى ٨٠ سعراً . وذلك للأسباب الآتية :

(١) ارتفاع سرعة التمثيل الغذائي القاعدية في الأطفال .

(٢) يستعمل بعض الطعام في بناء بروتوبلازم جديد في النمو .

(٣) الأطفال أكثر نشاطا من الكبار ، وحركتهم مستمرة .

فاذا اعتبرنا أن الرجل البالغ الكامل النمو (رب البيت) يحتاج لوحدة من الطعام كانت النسبة التي يحتاجها الأطفال كجدول (١٣) بحسب السن

هذا ويجب إعطاء الحوامل والمراضع كميات كافيـة من الطعام لبناء الجنين أو لإفراز اللبن .

ثالثا : يجب أن يحتوى الطعام على المواد الثلاث العضوية الأساسية — أي البروتينات والدهون ومائيات الكربون .

جدول (١٣)

السن	كمية الطعام
الرجل البالغ (رب البيت)	١,٠٠
الزوجة	٠,٨٣
الطفل حتى السنة الأولى	٠,٢٠
« من السنة الأولى إلى سنتين	٠,٣٠
« من سنتين إلى ٣ سنوات	٠,٤٠
« من ٣ سنوات إلى ٦ «	٠,٥٠
« من ٦ سنوات إلى ٨ «	٠,٦٠
« من ٨ « « ١٠ «	٠,٧٠
« من ١٠ « « ١٤ سنة	٠,٨٣
الذكور من ١٤ سنة « ٢٠ «	١,٠٠
الإناث من ١٤ سنة إلى ٢٠ سنة	٠,٨٣

١ — البروتينات : لا يمكن الاستغناء عنها بأى حال من الأحوال فى الغذاء ، حيث أنها المواد الوحيدة المحتوية على الأزوت والكبريت بشكل قابل للتمثيل والاستعمال بالجسم . فهى لازمة لترميم البروتوبلازم وتعويضه عما يفقده فى تفاعلاته الكيميائية المستمرة . ولبناء بروتوبلازم جديد فى حالات النمو فى الصغار ، وفى دور النقاهة والتمرين العضلى والحمل فى الكبار . وأحماضها الأمينية لازمة لتكوين عدة مركبات فى غاية الأهمية بالجسم كالخمائر وبعض الهرمونات والكرياتين وغير ذلك .

هذا ولا يجب أن يحتوى الطعام فقط على البروتين بل يجب أيضا أن يحتوى بروتين الطعام على كل الأحماض الأمينية الأساسية بكميات كافية — أى يجب أن يكون بروتين الطعام ذا قيمة غذائية وحيوية عالية — (أنظر ص ١٨٦) . وغالباً ما يكون البروتين الذى من أصل حيوانى ذا قيمة حيوية عالية ، ولو أن هذه ليست قاعدة ثابتة ، فمثلا للجيلاتين قيمة حيوية منخفضة

جداً فى حين أن لبروتين البطاطس قيمة حيوية عالية ، وأفضل البروتينات من حيث القيمة الحيوية هى تلك التى قدمها الله سبحانه وتعالى للحيوان الناشىء كزلال اللبن وزلال البيض ، فإن كانت القيمة الحيوية لبروتين الطعام منخفضة تعذر النمو فى الأطفال كما يتعذر التوازن الأزوتى والصحة بل الحياة فى الكبار ، وكلما صغر السن زادت نسبة البروتينات ذات القيمة الحيوية العالية التى يلزم وجودها فى الطعام ، ففى الأطفال الراضعين تكوّن البروتينات ذات القيمة الحيوية العالية مائة فى المائة من بروتين الطعام (اللبن) ، والأطفال فى سن سنة يحتاجون أن تكون البروتينات ذات القيمة الحيوية العالية أكثر من ٩٠ ٪ من البروتين الكلى للطعام . وعند سن الخامسة أكثر من ٦٠ ٪ وبين الخامسة والبلوغ أكثر من ٥٠ ٪ وفى الشخص البالغ ٣٥ ٪ على أقل تقدير .

وأما كمية البروتين التى يجب أن توجد فى الطعام يوميا فقد كانت موضع تجارب وأبحاث كثيرة (ص ١٨٥ — ١٩٠) ، ولما كانت البروتينات غالباً أغلى مواد الطعام فإنه يلزم عند تموين هيئة من الهيئات اعتبار تكاليف التموين من ناحية واعتبار الصحة العامة من الناحية الأخرى ، ولو أنه قد وجد فى بعض التجارب أنه يمكن بقاء الجسم فى توازن أزوتى وبصحة جيدة على ما يظهر ، مع وجود كميات قليلة من البروتين فى الطعام (٢٥ إلى ٤٠ جراما يوميا) ، إلا أن بقاء الجسم لمدد طويلة على مثل هذه الكمية من البروتين فى الطعام غير مرغوب فيه ، ويقال أن ذلك يدعو إلى نقص فى قابلية الشخص للعمل ومناعته للأمراض .

ومن الناحية الأخرى ليس هناك داع لزيادة كمية البروتين فى الطعام زيادة كبيرة جداً ما دام أن البروتين الزائد يستعمل فى الجسم كما تستعمل مائيات الكربون والدهون وليس له ميزة عنهما ، وقد أدعى البعض أن زيادة البروتين فى الطعام قد يحمّل الكلى من الجهد فى إخراج فضلاته ما هو فوق

طاقتها ، فينتج عن ذلك مرضها ، ولكن ليس هناك أدلة كافية على ذلك . وقد وجد إحصائيا أن أمراض الكلى أو الدورة الدموية ليست منتشرة فى كثرة فى الجهات التى يتناول سكانها مقادير كبيرة جداً من البروتين (الاسكيمو فى جرينلاند مثلا) .

وتقدر كمية البروتين اللازمة بالطعام بنحو ١,١ من الجرام يوميا لكل كيلو جرام من وزن الجسم للرجل البالغ ، ونحو ٤ جرامات لكل كيلو جرام من وزن الجسم للأطفال دون السادسة ونحو ٢,٦ جرام للأطفال فوق السادسة ولا يجب أن تقل الكمية عن ذلك ، ولكن ليس هناك دليل كاف على أن زيادتها فوق ذلك مضرة للصحة[1] ، هذا ويجب ملاحظة احتواء طعام الحوامل والمراضع على كميات أكثر من البروتين .

ب — الدهون : يلزم وجود الدهون فى الغذاء للأسباب الآتية :

(١) الدهون مواد قابلة جداً للهضم وتمتص كلها تقريبا .

(٢) تمتاز الدهون بأنها تبقى بالمعدة مدة أطول من غيرها ، وبذا تطول المدة الواقعة بين وجبة الطعام والاحساس بآلام الجوع ؛ ويستمر الشخص مدة أطول بقابليته للعمل .

(٣) الدهون عبارة عن مواد غذائية مركزة أكثر من مائيات الكربون والبروتينات ، فمثلا لو تناول الشخص مائة جرام من الزبدة فقد تناول نحو ٧٠٠ سعر حرارى ، إذ أن الزبدة لا تحتوى إلا على ٢٠ ٪ من الماء فقط ، فى حين أن الباقى مواد دهنية ، وأما إذا تناول الشخص مائة جرام من اللحم الخالى من الدهن فانه لا يأخذ إلا ما يعادل ٨٠ سعراً حراريا فقط ، إذ يحتوى اللحم الخالى من الدهن على أكثر من ٨٠٪ من الماء والباقى بروتين

---

(١) يدعى البعض أن زيادة اللحوم فى الطعام زيادة كبيرة قد تدعو إلى مرض النقرس .

(٤) تحتوى الدهون على الڤيتامينات الذائبة فيها ، وهى ڤيتامين ا ، ى ، ھ ، ك .

خامساً : تدخل الدهون فى تكوين پرتوپلازم الأنسجة ، وهذه ضرورية للبروتوپلازم كالبروتينات ، وخصوصاً پروتوپلازم الجهاز العصبي وأغشية الخلايا . وتتكون دهون الأنسجة من الفسفوليپيد .

سادساً : أثبت حديثاً برّ (Burr) ومساعدوه وآخرون أن بعض الأحماض الدهنية لازمة فى غذاء الحيوان كى تستمر الحياة . أما هذه الأحماض الدهنية الأساسية فهى حمضا لينوليك ولينولينيك (Linoleic & Linolenic)؛ فاذا منعت هذه الأحماض وقف نمو الحيوان ونقص وزنه وأصابه التهابات فى الكلى والجلد وفقد الإخصاب .

حـ — مائيات الكربون : يلزم وجودها فى الغذاء للأسباب الآتية :

(١) هى عادة أرخص المواد

(٢) تنبه أغشية الخلايا النباتية المكونة من مادة السليلوز والتى لا يهضمها جسم الإنسان حركات الأمعاء وتمنع الإمساك (للحيوانات آكلة الأعشاب المقدرة على هضم السليلوز) .

(٣) يمنع وجود مائيات الكربون فى الطعام تراكم الأحماض الخلونية فى الجسم .

(٤) توفر مائيات الكربون البروتينات التى تستعمل بالجسم .

وأما الكمية اللازمة من مائيات الكربون والدهون فيمكن تغييرها كثيراً بحسب شهية الشخص ومقدرته دون أن يؤثر ذلك فى الصحة ما دامت كمية الأسعار الحرارية اللازمة كافية وما دامت نسبة المواد التى تولد الأحماض الخلونية إلى المواد المضادة لتوليد الأحماض الخلونة بالجسم لا تزيد على ٢ (ص ٢٧٤) . ويبين الجدول الآتى تركيب طعام كامل من حيث المواد الثلاثة العضوية :

١٠٠ جرام بروتين (ثلثهـــا على الأقل من أصل حيوانى) تعطى
٤,١ × ١٠٠ = ٤١٠ سعراً حرارياً

١٠٠ « دهون تعطى ٩,٣ × ١٠٠ = ٩٣٠ «

٥٠٠ « مائيات الكربون « ٤,١ × ٥٠٠ = ٢٠٥٠ «

المجموع الكلى ٣٣٥٠

ويمكن إنقاص الدهنيات أو النشويات عن هذه الكمية إذا كانت زائدة عن حاجة الجسم . وبالعكس يمكن زيادتها إن كانت أقل مما يحتاجه الشخص .

رابعاً : يجب أن يحتوى الغذاء على كل الأملاح الغير العضوية الضرورية وأهمها أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والفوسفور والحديد والنحاس واليود .

وتلزم أملاح الصوديوم والبوتاسيوم لحفظ الضغط الأوزموزى بالدم وبسوائل الأنسجة والأنسجة نفسها . ويجب أن يأخذ الشخص على أقل تقدير جرامين من كلورور الصوديوم يوميا ، ولو أننا بحسب العادة نأخذ أكثر من ذلك فى طعـــامنا . ولا خوف من نقص البوتاسيوم فى الطعام إذ أن معظم الأنسجة الحيوانية والنباتية التى نتعاطاها تحتوى عليه بكميات كافية .

وتلزم أملاح الكالسيوم فى تكوين العظام وفى حفظها بعد النمو (ص ٢٩٤) ويجب أن يعطى الشخص نحو ٠,٦٥ من الجرام من الكالسيوم يوميا ، وهى ألزم ما تكون فى حالات النمو والحمل والرضاعة ويجب زيادتها عن ذلك فى هذه الحالات .

ويجب أن يحتوى الطعام على ١,٢٥ من الجرام من الفوسفور يوميا . ولما كانت البروتينات تحتوى على كميات كبيرة من الفوسفات فان الطعام الكامل من حيث البروتينات يكون كاملا من حيث الفوسفات .

ويلزم الحديد لتكوين كرات الدم الحمراء ؛ ويجب أن يحتوى الطعام على

نحو (١٥ — ٢٠) مليجراماً يوميا منها . ويلزم للأطفال من ٠,٥ إلى ٠,٦ من المليجرام لكل كيلو جرام من وزن الجسم .

ويلزم وجود النحاس لنفس السبب ، إذ أنه يساعد على تكوين كرات الدم الحمراء ولو أنه لا يدخل فى تركيبها .

أما اليود فأساسى لافراز الغدة الدرقية

وقد رأينا فى الباب الحادى والعشرين أن المغنسيوم والزنك والمنجنيز والفلور قد تكون من العناصر الأساسية فى الطعام بمقادير قليلة .

خامساً : يجب أن يحتوى الطعام على كل الڤيتامينات .

ويبين جدول (١٤) التركيب الكيميائى والقيمة الحرارية لبعض الأطعمة . وجدول (١٥) ما تحتويه بعض الأطعمة من الأملاح الغير العضوية ، وجدول (١٦) ما تحتويه من الڤيتامينات .

هذا ومن الأمور التى كثيراً ما تسبب نقصاً فى التغذية والتى يجب ملاحظتها دائماً أكثر من غيرها احتواء الطعام على كمية كافية من البروتين الجيـــد كاللحم والبيض والجبن وعلى كمية كافية من الفواكه الطازجة والخضروات كمصادر الڤيتامين ج إذا أن هذا الڤيتامين يتلف بسرعة فى عملية طهى الطعام وتحضيره . وكذلك يجب أن يأخذ الشخص كمية كافية من اللبن وخصوصا فى الأطفال النامين . وكثيراً ما يحرم الطفل النامى من اللبن إما عن جهل وإما عن فقر . والطفل الذى يحرم من رطل من اللبن على الأقل فى غذائه اليومى لايعطى الفرصة الكافية للنمو . فبروتينات اللبن من أجود البروتينات فى قيمتها الغذائية ، ومن أصلحها فى بناء البروتوبلازم . ويحتوى اللبن أيضاً على الڤيتامينات والكالسيوم والفوسفات اللازمة لبناء العظام . وقد أجريت تجارب عديدة على أطفال الملاجىء فى انجلترا وغيرها من الممالك ، وظهر بلا أدنى شك أن زيادة اللبن فى الطعام يساعد على نمو الأطفال ويكسبهم صحة ونشاطا . فلا يجب بأى حال من الأحوال التقتير من وجهة اللبن

وخصوصا فى غذاء الطفل وغذاء الحوامل والمراضع . وبالنسبة لما للبن من فائدة غذائية عظيمة ينصح هاريس (Harris) ربات البيوت أن يقسمن مصروف الغذاء بالتساوى ثلاثة أقسام ؛ فيصرف الثلث فى اللحم والسمك والثلث فى الفواكه والخضروات والثلث فى اللبن .

وفى الأطفال الرضيعين كثيراً ما يكون لبن الأم أو اللبن المحضر فقيرا فى الڤيتامينين ج و د ولذلك يجب إعطاء الرضيعين قليلا من عصير البرتقال الطازج يوميا للحصول على الڤيتامين ج وقليلا من زيت كبد الحوت كمصدر للڤيتامين د وخصوصا إن ظهرت أى أعراض لمرض الكساح . وقد سبق أن ذكرنا أن اللبن فقير فى الحديد ويسبب ذلك فقر الدم للرضيعين بعد الشهر الرابع للولادة . ولذا يجب إعطاء الرضيع من الشهر الثالث فما فوق قليلا من الشوربة المصنوعة من الخضروات والعظام .

هذا ويجرى العمل الآن بهمة عظيمة فى معمل الكيمياء الحيوية بكلية الطب المصرية تحت إشراف الأستاذ على حسن لتقدير القيمة الغذائية والڤيتامينية فى أنواع الأغذية المصرية على اختلاف أنواعها . ويحتوى الجدولان ١٧ و ١٨ على بعض النتائج التى حصل عليها . وعند إتمام هذه الأبحاث وتطبيق نتائجها عملياً سيكون لها بلا أدنى شك أثراً كبيراً فى رفع المستوى الصحى وفى منع كثير من أمراض التغذية المنتشرة فى مصر كالكساح والعشى والبلاجرا .

جدول (١٤)

التركيب الكيميائى والقيمة الحرارية لبعض الأغذية الشائعة

	النسبة المئوية					سعرا بكل كيلوجرام
	ماء	ازوت البروتين ×٦٫٢٥	دهن	مائيات كربون	رماد	
اللحم :						
البقرى	٥٤٫٨	٢٣٫٥	٢٠٫٤	—	١٫٢	٢٨٦٠
الضأن	٥٠٫٩	٢٥٫٥	٢٢٫٦	—	١٫٢	٣١٢٥
الخنزير	٤٩٫٢	٢٢٫٥	٢١٫٥	—	٥٫٨	٢٨٧٠
	١٨٫٨	٩٫٩	٦٧٫٤	—	٤٫٤	٦٦٦٥
الدجاج	٧٤٫٨	٢١٫٥	٢٫٥	—	١٫١	١١١٠
السمك	٨٢٫٦	١٦٫٥	٠٫٤	—	١٫٢	٧١٥
المربخ	٧٢٫٥	١٩٫٥	٧٫١	—	١٫٥	١٤٥٥
السالمون	٦٤٫٦	٢٢٫٠	١٢٫٨	—	١٫٤	٢٠٩٠
الزبدة	١١٫٠	١٫٠	٨٥٫٠	—	٣٫٠	٧٩٣٠
الجبن الأمريكى الأحمر	٢٨٫٦	٢٩٫٦	٣٨٫٣	—	٣٫٥	٤٧٦٥
اللبن	٨٧٫٠	٣٫٣	٤٫٠	٥٫٠	٠٫٧	٧١٥
البيض المغلى	٧٣٫٢	١٣٫٢	١٢٫٠	—	٠٫٨	١٦٨٥
دقيق القمح الأبيض	١١٫٥	١١٫٤	١٫٠	٧٥٫٦	٠٫٥	٣٦٥٠
الخبز الأبيض	٣٥٫٦	٩٫٣	١٫٢	٥٢٫٧	١٫٢	٢٦٥٠

تابع جدول (١٤)

التركيب الكيميائى والقيمة الحرارية لبعض الأغذية الشائعة

	النسبة المئوية					سعرا بكل كيلوجرام
	ماء	ازوت البروتين ٦,٢٥	دهن	مائيات كربون	رماد	
الفواكه :						
التفاح	٨٤,٦	٠,٤	٠,٥	٦٤,٢	٠,٣	٦٤٠
الموز	٣٥,٣	١,٣	٠,٦	٢٢,٠	٠,٨	١,٠١٠
الشليك	٨٠,٩	١,٠	٠,٨	١٦,٧	٠,٦	٨٠٥
البرتقال	٨٦,٩	٠,٨	٠,٢	١١,٦	٠,٥	٥٢٨
الخضروات :						
الفول الناشف	١٢,٦	٢٢,٥	١,٨	٥٩,٦	٣,٥	٣٥٣٠
الكرنب	٩١,٥	١,٦	٠,٣	٥,٦	١,٠	٣٢٠
الخس	٩٤,٧	١,٢	٠,٣	٢,٩	٠,٩	٢٠٦
البطاطس	٧٥,٥	٢,٥	٠,١	٢٠,٩	١,٠	٩٦٨
السكر المحبب	—	—	—	١٠٠,٠	—	٤٠٩٠
الشوكولاته	٥,٩	١٢,٩	٤٨,٧	٣٠,٣	٢,٢	٦٢٩٥
الكاكاو	٤,٦	٢١,٦	٤٨,٩	٣٧,٧	٧,٢	٥١٠٥

(ماخوذ من كتاب بست وتايلور)

جدول (١٥)

الرماد الموجود ببعض الأغذية الشائعة

(عن لسك)

	الموجود بكل مائة جرام من المادة الطازجة						
	الحديد	الكالسيوم	المغنسيوم	الصوديوم	البوتاسيوم	الفوسفور	الكلورين
	مجم	مجم	مجم	مجم	مجم	مجم	مجم
اللحم البقرى	٣,٨	٨	٢٤	٦٧	٣٥	٢٢	٥٠
البيض	٣,٠	٦٧	٩	١٥	١٤	١٦	١٠٠
اللبن	٠,٢	١٢٠	١١	٥١	١٤٢	٩٤	١٢٠
القرطم	٣,٧	٩٣	١٢٧	٨١	٣٨٠	٣٨٠	٣٥
الرز المقشور	٠,٧	٨	٢٧	٢١	٦٨	٨٩	٥٠
دقيق القمح	١,٥	٢٦	٣٠	٦٩	١٤٦	٨٦	٧٦
حبة القمح	٥,٢	٤٤	١٧٠	١٠٦	٥١٥	٤٦٩	٨٨
الفول الناشف	٧,٢	٧١	١٨٧	٢٤٥	١٧٤٣	٣٣٦	٢٥
الفول الطازج	١,٦	—	—	—	—	—	—
الكرنب	٠,٩	٤٩	١٤	٢٠	٢٤٣	٢٧	١٣
الحمص الناشف	٥,٦	١٠٠	١٤٥	١١٨	٨٨٠	٣٩٧	٤٠
البطاطس	١,٢	١١	٢٢	١٩	٤٤٠	٦١	٣٠
السبانخ	٣,٨	—	—	—	—	—	—
التفاح	٠,٣	١٠	٨	١٥	١٢٥	١٣	٤

(مأخوذ من كتاب بست وتايلور)

جدول (١٦)

القيمة الڤيتامينية لبعض المواد الغذائية

المادة الغذائية	الڤيتــــامين					
	أ A	ب١ B_1	ب٢ B_2	ح C	ى D	هـ E
الحبوب						
القمح :						
الحبة كلها	+	++	+	−	....	+
الجنين	++	+++	++	−		+++
الردة	+	++	++	−	....	....
الأندوسبرم (الدقيق الأبيض)	−	−	−	−	....	....
الأرز :						
الحبة كلها	+	++	+	−	....	....
الجنين	....	+++	....	....	....	....
الأندوسبرم	....	−	−	−	....	....
الشوفان كله	− إلى +	+	....	−	....	+
الذرة :						
الأصفر كله	+	++	+	+	....	+
الجنين	+	+++	+	...	....	+++
الشعير كله		++	....	−	...	....
الخضروات						
كشك الماز غير مطهى	....	....	....	....	....	....
(Asparagus)	++	++	....	+++	....	....
البقول والحمص . البسلة	+ إلى ++	+ إلى ++	....	+ إلى +++	....	....

المادة الغذائية	الڤيتـــــامين					
	أ A	ب ١ B1	ب ٢ B2	حـ C	ء D	هـ E
الـكرنب :						
الغير مطهى	....	++	++	+++	....	....
المطهى لمدة ساعة	+	....	....	+	....	....
الجزر :						
الغير مطهى	++	++	+	++	....	....
المطهى	....	....	....	+	....	....
كرفس غير مطهى	++	....	....	++	....	....
الخيار	+	....	....	++	....	....
الخس	++	++	+	+++	....	+++
الفلفل الأخضر	++	....	....	+++	....	....
البطاطس :						
الغير مطهى	+	++	+	+إلى+++	....	....
المطهى	+	....	....	+إلى++	....	....
القرع	++	+	....	+	....	....
السبانخ الغير مطهى	++	+	++	+إلى+++	—إلى +	....
اللفت	— إلى +	+	+	+++	....	....
الفواكه :						
التفاح	+	+	+	+ إلى ++	....	....
العنب	+	....	....	قليل جداً	....	....
الليمون						
أضاليا (Lemons)	+	....	....	+++	....	....
بلدى (Lime)	—	....	....	++	....	....
البرتقال	+	....	....	....	....	+
الشليك	+	....	....	+إلى+++	....	....

المادة الغذائية	الفيتامين					
	ا A	ب ١ B_1	ب ٢ B_2	ح C	ء E	هـ E
اللحم والسمك :						
لحم البقر	....	++	++	- إلى +	....	++
كبد الكتكوت	—	...	...	+	++	....
لحم السمك	- إلى +	+	. . .	....	....	....
خلاصة الكبد البخارية	....	++	+++	....	....	....
لحم الضأن	....	++	++	- إلى +	....	....
المحار	++	...	...	+	++	....
السالمون المحفوظ	+	....	....	....	....	....
البيض :						
البياض	—	—	++	—	—	....
الصفار	++	++	+	—	+++	++
لبن البقر	+	+	++	+	- إلى +	- إلى +
الدهون والزيوت:						
الزبدة	++	....	....	....	++	++
دهن الخنزير	- إلى +	....	...	....	....	+
القشدة	++	....	+	. . .	+	- إلى +
زيت الذره	+ إلى ++	....	...	....	....	+++
زيت النخيل	+ إلى +++	....	....	....	....	++
زيت حبة القمح	+	....	....	....	....	+++
« كبد السمك:						
الحوت	+++	....	....	....	+++	....
سمك الهلبوت (Halibut)	+++	....	....	....	+++	....

+ أي أن الفيتامين موجود بالطعام .

++ أي أن المادة الغذائية مصدر جيد للفيتامين .

+++ « « « غني .

(مأخوذ من كتاب بست وتايلور)

جدول (١٧)

التركيب الكيمائى لبعض الأطعمة المصرية

المادة الغذائية	ماء	بروتين	دهن	مائيات كربون	رماد	الياف
حبوب الحلبة	١٠,٣	٢٢,٧	٦,٠	٥١,٤	٢,٦	٧,١
«	١٠,٣	٢٤,٣	٦,٢	٤٩,٤	٢,٣	٧,٤
بصل صعيدى أصفر	٨٦,٨	١,٣	٠,١	١٠,٣	٠,٦	٠,٧
« « أبيض	٨٦,٣	٢,٢	٠,٣	٨,٩	٠,٧	١,٦
« « أحمر	٨٧,٠	٠,٩	٠,٢	٧,٩	٠,٥	٣,٥
« بحيرى	٨٦,١	١,٦	٠,١	١٠,٧	٠,٦	٠,٨
ثوم	٦٦,٧	٥,٤	٠,١	٢٣,٠	١,٣	٣,٦
طماطم	٩٤,٨	٠,٨	٠,٢	١,٦	٠,٥	٢,١
خضروات طازجة :—	.	.	.	.	.	.
فول	٧٥,٨	٧,٥	٠,٤	١١,٨	٠,٨	٣,٧
فاصوليا	٨٩,٠	١,٨	٠,١	٧,٠	٠,٥	١,٥
قلقاس	٧٤,٠	٢,٠	٠,٤	٢١,٨	٠,٨	١,٤
جزر أحمر	٨٨,٧	٠,٤	٠,٢	٨,٤	٠,٩	١,٠
جزر أصفر	٨٨,٦	٠,٦	٠,١	٧,١	٠,٧	٢,٣
باذنجان رومى	٩٣,٦	٠,٨	٠,١	٤,٤	٠,٦	١,٨
« بلدى	٩٢,٠	١,٥	٠,١	٤,٨	٠,٥	١,٤
خيار	٩٥,٨	٠,٨	٠,٣	٢,٢	٠,٤	٠,٥
قرع	٩٤,٥	١,٠	٠,٣	٣,٠	٠,٥	٠,٦
بامية	٨٥,٧	٣,٠	٠,٢	٨,٣	٠,١	١,٤

تابع جدول (١٧) لبعض الأطعمة المصرية

المادة الغذائية	ماء	بروتين	دهن	مائيات كربون	رماد	الياف
خس بلدى	٨٢,٣	١,٠	٠,٣	١٤,٩	٠,١	١,٤
كرمب	٩٣,٠	١,٢	٠,١	١,٤	٠,٥	٣,٨
كرنبيط	٩١,٠	٢,٢	٠,٢	١,٠	٠,٨	٤,٥
فلفل أخضر	٩٦,٠	١,٢	٠,٥	١,٧	٠,٣	٠,١
خبيزة	٧٨,٠	٥,٥	٠,٦	٣,٦	٢,٦	٨,٩
سبانخ	٨٦,٣	٣,٣	٠,٣	٥,٤	٢,١	٢,٦

جدول (١٨)

تحليل كيمائى تام للفول وبعض منتجاته

منتجات الفول	ماء	بروتين	دهن	مائيات كربون	رماد	الياف
الفول ناشف	١٢,٨	٢٥,٠	٠,٣	٤٦,١	٢,٢	١٣,٩
فول مدمس	٦٧,٤	٩,٢	٠,٤	١٥,٦	٠,٨	٦,٣
« نابت بقشره	٦٤,٩	١٠,٣	٠,٣	١٧,٣	١,٤	٥,٥
« « مقشور	٦٤,١	١١,٥	٠,٣	١٦,٨	١,٣	٥,٧
مرق فول مدمس		٢,١		٥,٥		
شوربة فول نابت بقشره		٢,٧		١,١		
« « « مقشور		١,٤		٢,٤		

الباب السادس والعشرون

اللبن

اللبن سائل أبيض ، معتم ، حلو الطعم ، ذو رائحة مميزة خاصة ، تختلف كثافته بين ١٠٢٨ و ١٠٣٤ . وتفاعله حامضي قليلا وأسه الايدروجيني (٦,٦ — ٦,٨) . وتزداد حموضته بتعرضه للهواء ، وذلك لنمو الجرثومة باسيلوس لاكتيكوس فيه (Bacillus Lacticus) ؛ وهذه تحول ثنائي التسكر لاكتوز إلى حامض اللبنيك .

ويحتوى اللبن على ماء وبروتين ودهن وثنائي التسكر لاكتوز وأملاح معدنية وفيتامينات .

دهن اللبن : إذا فحصت نقطة من اللبن تحت الميكرسكوب وجدت مكونة من سائل شفاف به نقط صغير من الدهن ، قطرها من $\frac{١}{١٠٠}$ إلى $\frac{١}{٢٠٠}$ من المليمتر ؛ وهذه النقط الدهنية هي التي تجعل مظهر اللبن معتما وغير شفاف . وربما كان السبب في انفصال النقط الدهنية عن بعضها وعدم تجمعها هو وجود طبقة رقيقة من بروتين اللبن تكسوها وتجعل المستحلب ثابتاً .

ويتكون معظم دهن اللبن من أسترات الجليسيرول — ثلاثي البالميتين وثلاثي الاستيارين وثلاثي الأوليين — وبه كميات قليلة من أسترات الجليسيرول المحتوية على الأحماض الدهنية الصغيرة التي تتكون كلها من عدد زوجي من ذرات الكربون . ويحتوى اللبن أيضاً على قليل من الليسيثين والكوليسترول وعلى صبغة دهنية صفراء تسمى ليبوكروم (Lipochrome) .

وإذا ترك اللبن ارتفعت النقط الدهنية إلى السطح وكونت طبقة من

القشدة (cream) وإذا رج اللبن — وخصوصاً إن كان حامضا قليلا — تجمعت النقط الدهنية مع بعضها وكونت الزبدة (Butter) .

سكر اللبن : هو ثنائى التسكر لاكتوز الذى يتحلل بوساطة الخميرة لاكتيز الموجودة فى إفراز الأمعاء الدقيقة إلى جزىء من سكر العنب وجزىء من سكر الجالاكتوز . وقد يوجد اللاكتوز فى بول المراضع إذ يمتص من غدد الثدى بعد تكونه إلى الدم . ولما كانت الأنسجة لاتستعمله قبل هضمه إلى أحاديات التسكر فإنه يمر إلى البول ، وله المقدرة على اختزال محلول فهلنج ولكن له أوسازون مخصوص ؛ ولا تؤثر فيه خميرة البيرة — وبذا يمكن تمييزه عن سكر العنب الذى يظهر فى البول فى مرض البول السكرى .

بروتين اللبن : يوجد باللبن ثلاثة أنواع من البروتين ، وهى كازينوچين والبيومين وجلوبيولين اللبن (Caseinogen, LactAlbumin and Lactglobulin) .

والكازينوچين هو البروتين الأساسى الموجود باللبن . وهو من فصيلة البروتين الفوسفورى ؛ ويترسب بالأحماض ويذوب فى القواعد المختلفة ويتحول بوساطة الخميرة منفحين (Rennin) إلى كازين سائل أو باراكازين (Paracasien) وبروتين آخر يقال له بروتين الشرش (whey Protein) . وفى وجود أيونات الكالسيوم يتحول الكازين السائل إلى كازين غير ذائب . وتعمل الجبن من اللبن بهذه الطريقة ، فبإضافة الخميرة منفحين إلى اللبن يترسب الكازينوچين فى وجود أيونات الكالسيوم مكوناً جلطة تحتوى على نقط دهنية بين ثناياها ؛ ثم تنكمش الجلطة ويخرج منها الشرش . وهناك طرق أخرى لتجبن اللبن بدون استعمال الخميرة منفحين : فاذا أغلى اللبن الطازج لايتجبن ؛ وأما إذا ترك ليتكون به حامض اللبنيك وأصبح فى درجة معينة من الحموضة تجبن بالغليان . وقد يتجبن بلا غليان إذا ترك مدة أكبر وزادت حموضته .

وأما ألبيومين وجلوبيولين اللبن فيوجدان بمقادير أقل من الكازينوچين ويبقيان فى الشرش بعد تجبن اللبن . وهما يشبهان البيومين وجلوبيولين السيرم ولكنهما يختلفان عنهما فى بعض الخواص مما يثبت أنهما بروتينان مختلفان . ويتجمع الألبيومين والجلوبيومين بالحرارة . وإذا أغلى اللبن كونا قشرة على السطح .

الاملاح الغير العضوية : يوجد باللبن فوسفات الكالسيوم والمغنسيوم وكلورور الصوديوم والبوتاسيوم وقليل من الحديد وآثار من أملاح أخرى.

الفيتامينات : يوجد باللبن الفيتامينات ا ، $ب_١$ ، $ب_٢$ ، حـ ، ى . وقد يوجد الفيتامينان ب و ى بمقادير قليلة فى اللبن الآدمى .

مما تقدم يمكننا أن نعتبر اللبن غذاء كاملا ، وخصوصاً للأطفال حديثى الولادة ، إذ تحتوى بروتيناته على كل الأحماض الأمينية اللازمة للبروتوبلازم؛ ولكن هناك نقص فى كمية الحديد الموجودة باللبن ولذلك نرى الأطفال الذين يفطمون متأخرين يصابون بفقر الدم . ولا يستحسن أن يقتصر الكبار على اللبن كغذائهم الوحيد ، إذ أنه يجب فى هذه الحالة أخذ مقادير كبيرة منه للحصول على الطاقة اللازمة ، وفضلا عن ذلك فإن كميات البروتين والدهن الموجودة به أكبر نسبياً من كمية مائيات الكربون .

العوامل التى تؤثر فى إفراز اللبن

هناك عوامل كثيرة ، نفسية وعصبية وهرمونية ، تؤثر فى غدد الثدى من حيث تكوينها وإفرازها سنتكلم عنها فيما بعد (باب الهرمونات الجزء الثالث) ؛ وسنتكلم هنا فقط عن تأثير غذاء الحيوان وطول مدة الرضاعة بعد الولادة .

تأثير الغذاء فى افراز اللبن : قد عملت تجارب عدة لدراسة تأثير الغذاء

فى إفراز اللبن ، ليس فقط من الوجهة الاقتصادية الهامة بالنسبة لمواشى اللبن بل أيضا من الوجهة الصحية بالنسبة للأطفال الرضع . وقد أثبتت هذه التجارب أن للغذاء تأثيراً عظيما فى كمية اللبن التى تفرز يوميا ، وفى نسبة الدهن والفيتامينات به ؛ ولكن نسبة البروتين وسكر اللبن والأملاح المعدنية لا تتأثير كثيراً بالغذاء .

فقد وجد فى الغنم والماعز أن نسبة الدهن فى اللبن تزداد كثيراً عند صيام الحيوان عن الطعام وتقل إذا أعطيت هذه الحيوانات طعاما يحتوى على كثير من مائيات الكربون وقليل من الدهن . وإذا أضيف البروتين إلى الطعام زاد حجم اللبن ولكن لا ترتفع نسبة الدهن فيه ، وبذلك تبقى قيمته الحرارية منخفضة . وأما إذا استبدلت مائيات الكربون جزئياً بالدهن — بأن يعطى الحيوان يوميا من نصف جرام إلى جرام من الدهن لكل كيلو جرام من وزنه — فإن كميـة الدهن باللبن تزيد كثيراً وبذا تزيد قيمته الحرارية والغذائية .

ووجد فى الكلاب أن أكبر كمية من اللبن وأغناها فى البروتين هى عند ما يعطى فى الطعام كثير من الدهن واللحم . وتقل نسبة الدهن — كما فى حالة الغنم — إذا منع الدهن من الطعام واستبدل بمائيات الكربون .

وكذلك وجد للطعام تأثير كبير فيما يحتوى عليه اللبن من الفيتامينات . ففى البقر تزداد كمية الفيتامينين ا ، ى كثيرا عند ما ترعى فى المراعى الخضراء، فى حين تقل كثيرا عند ما يتكون الطعام من الحبوب والجذور الجافة . ومن المستحسن ألا تترك مواشى اللبن فى الظلام فإن تعريضها لأشعة الشمس يزيد فى كمية الفتيامين ى باللبن .

وقدكانت البقرة الحلوب منذ خمسين سنة تعطى الفلاح فى المتوسـط ، ألف كيلو جرام من اللبن فى السـنة . وأما الآن فإنه بوساطة تناسل أحسن الأنواع وتربيتها أمكن الحصول على قطعان من البقر تعطى ما بين ٣٥٠٠ ، ٥٥٠٠ كيلو جرام من اللبن فى السنة .

ولا تتغير نسبة البروتين فى اللبن إلا قليلا جداً حتى فى حالة ما تضطر البقرة إلى استعمال انسجة الجسم لتكوين بروتين اللبن . وقد وجدت نفس النتيجة فى السيدات المراضع ، ففى إحدى التجارب مثلا كان الطعام يحوى بين ٥ و٧,٨ من الجرام من الأزوت يومياً فقط ، وكانت الأم تستعمل بروتين البروتوبلازم لصناعة بروتين اللبن مع أن قيمة الطعام الحرارية كانت عالية وتبلغ نحو ٤٠٠٠ سعر حرارى كبير يوميا .

وكذلك تبقى نسبة سكر اللبن ثابتة مع تغير كمية مائيات الكربون فى الطعام أو مع تقليل كمية السكر فى جسم الحيوان بوساطة حقنه بمادة الفلوردزين التى تسبب إفراز السكر بالبول .

وعلى الأساس نفسه لا تتغير نسبة الأملاح المعدنية فى اللبن حتى إذا كانت ناقصة فى الطعام ، فقد وجد مثلا أنه إذا كان طعام البقر أو السيدة المرضع ناقصاً فى أملاح الكالسيوم بقيت نسبة الكالسيوم فى اللبن ثابتة ، ويقدم الكالسيوم اللازم للبن من عظام الأم . ووجد أيضاً أنه أضيفت إلى الطعام كميات كبيرة من الأملاح المعدنية — مثل كلورور الصوديوم وفوسفات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم — لا تتأثر نسبة هذه الأملاح فى اللبن .

وفى السيدات وجد أن أكبر كمية من اللبن تفرزها المرضع يومياً تقرب من لترين . وتفرز هذه الكمية عند ما يحتوى الطعام على الخضراوات والبقول والفواكه والجوز ؛ ويستحسن أن يضاف إلى هذه المواد البيض واللحم واللبن حتى لا تفقد المرضع شيئا من بروتوبلازم أنسجة جسمها لتكوين بروتين اللبن .

مما تقدم تستنتج أنه يجب أن تعطى السيدات المراضع كميات كبيرة من الطعام ذات قيمة حرارية عالية ، بها كثير من الدهن — كالقشدة والزبدة — وبها كميات كافية من البروتينات ذات القيمة الحيوية العالية ، وكميات كافية من المواد المحتوية على الڤيتامينات والأملاح الغير العضوية وخصوصاً أملاح الكالسيوم .

تأثير مدة الرضاعة بعد الولادة فى كمية اللبن :— تزداد كمية اللبن التى تفرزها المرأة بعد الولادة بالتدريج إذا ارضعت طفلها . ويبدأ الافراز غالباً فى اليوم الثانى أو الثالث بعد الولادة حتى ولو ولد الطفل ميتاً ولم يرضع من الثدى ، وفى هذه الحالة يقل انتفاخ الثدى تدريجياً ثم تضمر غدده ويبين (جدول ١٩) متوسط كمية اللبن التى تفرزها الأم يومياً بعد الولادة .

جدول (١٩) (عن ستارلنج)

الوقت بعد الولادة	كمية اللبن التى تفرز يوميا بالجرام
اليوم الأول	٢٠ جراماً
« الثانى	٩٧ «
« الثالث	٢١١ «
« الرابع	٣٢٦ «
« الخامس	٣٦٤ «
« السادس	٤٠٢ «
« السابع	٤٧٨ «
الأسبوع الثانى	٥٠٢ «
الأسبوع الثالث والرابع	٥٧٢ «
من الأسبوع الخامس إلى الثانى	٧٣٦ «
من الأسبوع التاسع إلى الثانى عشر . . .	٧٩٧ «
« « الثالث عشر إلى السادس عشر . .	٨٣٦ «
« « السابع عشر إلى العشرين . .	٨٦٧ «
« « الواحد والعشرين إلى الرابع والعشرين	٩٤٤ «
« « الخامس والعشرين إلى الثامن والعشرين	٩٦٣ «
« « التاسع والعشرين إلى الثانى والثلاثين	٩١٦ «
« « الثالث والثلاثين إلى السادس والثلاثين	٩٠٩ «
الأسبوع السابع والثلاثون	٨٨٥ «

وقد يستمر الافراز مدة أطول من ذلك إذا لم يفطم الطفل . وتزداد كمية اللبن فوق المتوسط المذكور فى الجدول الساق إذا كان الطفل كبيراً وقوياً ، وتقل مع ضعف الطفل .

ويسمى السائل الذى يفرز من الثدى بعد الولادة مباشرة باللباء (colostrum) ، ويتغذى به الطفل فى اليومين الأولين بعد الولادة . وهو سائل أصفر به نقط دهنية وخلايا متعددة النوايا ومحملة بالدهن . والكازينوچين به قليل جداً أو غير موجود ؛ ويحتوى تقريبا على ٣٪ من البروتين البومين وجلوبيولين . اللبن ؛ ويوجد به اللاكتوز والأملاح المعدنية .

الفرق بين ألبان الفصائل المختلفة

تختلف ألبان الفصائل المختلفة عن بعضها . وهناك أدله كثيرة على أن لبن كل فصيلة يناسب صغار نفس الفصيلة أكثر من صغار الحيوانات الأخرى . فقد وجد بنج (Bunge) مثلا أن رماد ابن الكلاب يشبه فى تركيبه الكيميائى تمام الشبه رماد الكلاب الصغيرة حديثة الولادة ، ولكنه يختلف كثيراً عن رماد الألبان الأخرى — كلبن البقر أو اللبن الآدمى . وهناك فرق واحد وهو أن أملاح الحديد فى رماد اللبن أقل منها فى رماد الحيوان الصغير . ولكن هذا الفرق قليل الأهمية إذ أن الحيوان الصغير يولد بكميات كبيرة من الحديد أكثر من الكبار .

وكازينوچين الألبان المختلفة له صفات كيميائية مختلفة أيضا . ويقال إن خميرة منفحين المعدة أكثر تناسباً لتجبن ابن الأنثى التى من نفس الفصيلة

وفضلا عن ذلك فقد وجد بنج أن هناك علاقة بين النسبه المئوية للمواد المتركب من اللبن وسرعة نمو صغار الحيوانات المختلفة كما يتبين من جدول ٢٠

جدول (٢٠)

نوع الحيوان	الوقت الذى يلزم للحيوان الصغير ليضاعف وزنه بعد الولادة	النسبة المئوية		
		بروتين	رماد	أكسيد الكالسيوم
الإنسان	١٨٠ يوماً	١,٦	٠,٢	٠,٣٢٨
الحصان	٦٠ »	٢,٠	٠,٤	٠,١٢٤
العجل	٤٧ »	٣,٥	٠,٧	٠,١٦٠
الجدى	١٩ »	٤,٣	٠,٨	٠,٢١٠
الخنزير	١٨ »	٥,٩		
الخروف	١٠ أيام	٠,٩	٠,٩	٠,٢٧٢
الكلب	٨ »	١,٣	١,٣	٠,٤٥٣
القطة	٧ »	٩,٥		

ويلاحظ من هذا الجدول أنه كلما زادت سرعة نمو الحيوان زادت فى اللبن كمية البروتين والأملاح المعدنية اللازمة لتكوين البروتوبلازم ، وزادت كمية الكالسيوم اللازمة لبناء العظام . ويبين جدول (٢١) الفرق بالتفصيل بين تركيب اللبن البقرى الجيد واللبن الآدمى الجيد :

جدول (٢١)

نوع اللبن	بروتين ٪	دهن ٪	لاكتوز ٪	رماد ٪
بقرى	٣,٥	٣,٥	٥	٠,٧
آدمى	١,٥	٤	٧	٠,٢

ويرى من هذا الجدول أن اللبن البقرى يحتوى على كميات أكبر من الأملاح المعدنية ، أى الرماد . وفضلا عن ذلك فإن نسب الأملاح المختلفة

تختلف كثيراً فى النوعين من اللبن فنسبة البوتاسيوم فى اللبن البقرى ضعفها فى اللبن الآدمى ؛ ونسبة الكالسيوم ثلاثة أمثالها ؛ والصوديوم أربعة أمثالها ؛ والفسفور خمسة أمثالها فى اللبن الآدمى . وعلى خلاف ذلك فإن كمية الحديد فى االبن الآدمى أكثر منها فى اللبن البقرى بمقدار الضعف أوثلاثة الأمثال .

وقد تكون كمية البروتين الكبيرة الموجودة فى لبن البقر مضرة بصحة الطفل ، فهى تدعو إلى تجبن اللبن فى معدة الطفل فى كتل كبيرة عسرة الهضم ؛ وحتى إذا هضمت جيداً فهى أكثر مما يحتاجه الطفل وتدعو إلى زيادة فى سرعة التمثيل الغذائى نظراً لتأثيرها النوعى الديناميكى .

مما تقدم نستنتج أن اللبن البقرى — كما يفرز — لا يصح بحال من الأحوال أن يكون غذاءاً للأطفال حديثى الولادة ؛ ولا يمكن أن يحل محل لبن لأم . هذا فضلا عن أن اللبن وسط جيد جداً لنمو الميكروبات المختلفة ؛ وبقاؤه بعد الإفراز معرضاً للجو — وخصوصاً فى جو حار فى معظم شهور السنة كجو مصر — يجعله سريع التلوث . ومعظم النزلات المعوية التى تصيب الأطفال الراضعين بكثرة فى الصيف وتدعو إلى وفاة كثير منهم منشؤها التغذية بألبان الأبقار أو الألبان الصناعية الأخرى الملوثة . فالأم التى تهمل إرضاع وليدها ترتكب فى حق صحته جناية لا تغتفر ؛ إذ أنها تقدم إليه طعاماً غير طبيعى بدلا من ذلك الطعام الذى يقدم إليه الله سبحانه وتعالى ، والذى تتغير كميته وتركيبه الكيميائى تغيراً يتناسب مع نمو الطفل .

وهناك ظروف قد تحتم تغذية الطفل بلبن البقر ، كأن تكون الأم غير طبيعية ، أو كأن تموت بعد الولادة . وفى هذه الحالات يجب أن يخفف ابن البقر بالماء المغلى مرتين أوثلاثاً حتى تصير كمية البروتين به مساوية لتلك التى باللبن الآدمى ، ثم يضاف إليه سكر اللبن ودهن بكميات مناسبة . ويمكن الحصول على الدهن اللازم بأن يترك اللبن مدة ثم تؤخذ الطبقة العالية به والتى تكون نسبة الدهن فيها أكثر منها فى باقى الإناء .

جدول (٢٢)

يبين أهم العناصر المعدنية وما يناظرها من رموز

العنصر	الرمز	العنصر	الرمز
ألومنيوم	لو	رصاص	ر
انتيمون	نت	مغنسيوم	مغ
زرنيخ	ر	منجنيز	من
باريوم	با	زئبق	ے
بروم	بر	نيكل	نى
كالسيوم	كا	أزوت	ز
كاربون	ك	أوكسيچين	ا
كلورين	كل	فوسفور	فو
كروم	كر	بلاتين	بلا
نحاس	نح	بوتاسيوم	بو
فلور	فل	فضة	ف
ذهب	ذ	صوديوم	ص
إيدروچين	يد	كبريت	كب
يود	ى	قصدير	ق
حديد	ح	زنك	خ